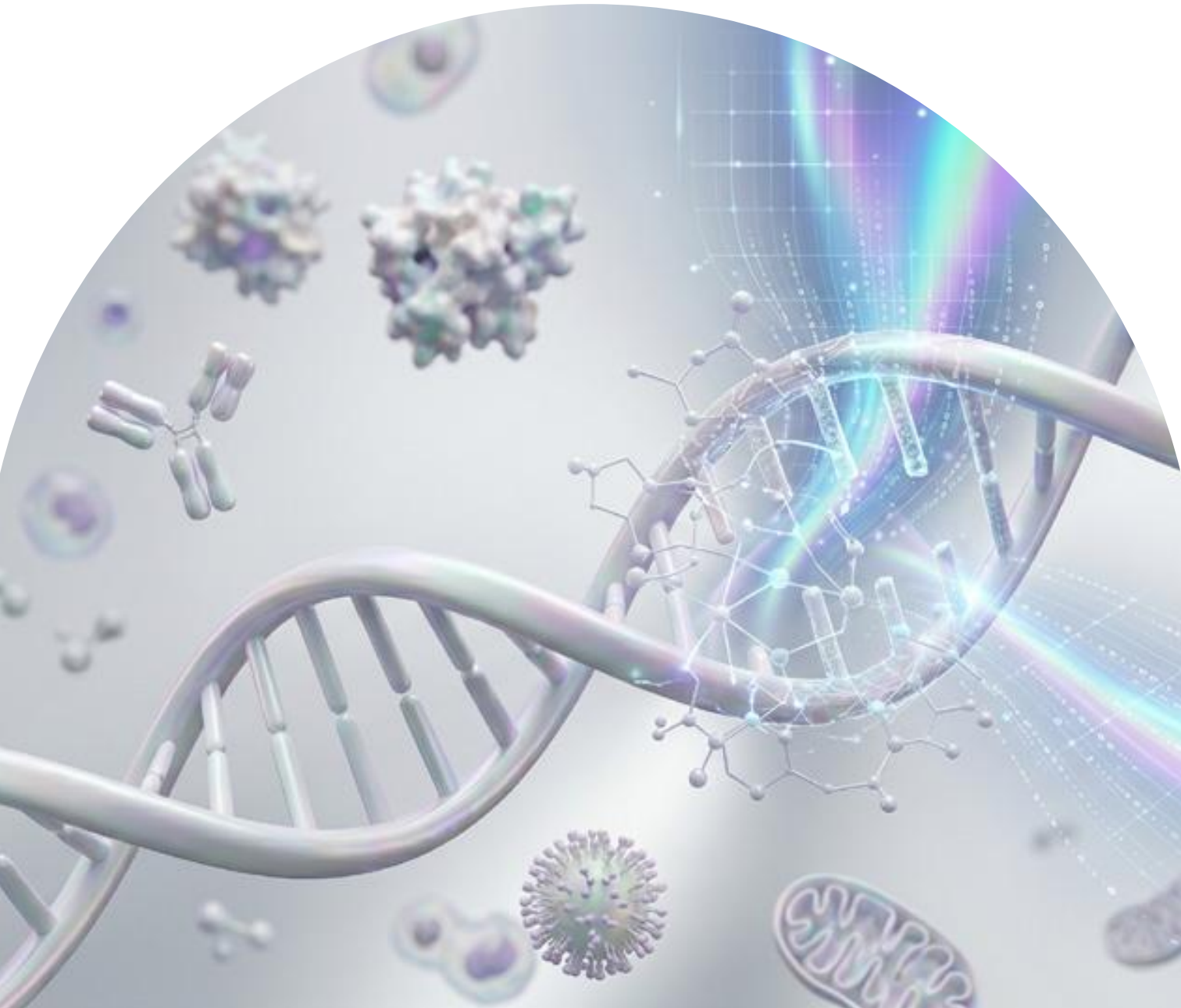


Tech Focus

Jun. 2026

Vol. 32



Focus Story
> Flow

차세대 모달리티와 K-바이오파운드리,
복잡한 바이오 설계를 산업화하는 새로운 엔진

Special Report
> M.AX Series©

추격에서 선점까지 :
K-AI 바이오 로드맵

Changing Tomorrow
> R&D Project

전기를 제어하는 기술이
산업을 바꾼다

R&Dism
> 슬기로운 기술 생활

비침습 바이오센서, 내 몸의
시그널 읽어 건강을 모니터링하다



<테크 포커스>
웹진 보기
매월 10일 오픈

Tech Focus

Jun. 2026

<테크 포커스> 웹진에서 6월호 기사를 확인하세요! techfocus.kr

Vol. 32



Special Report

14

M.AX Series①

추격에서 선점까지:
K-AI 바이오 로드맵

20

M.AX Series②

AI 만난 세포 지도,
신약 개발의 새 장을 열다

Changing Tomorrow

24

R&D Project

제엠제코주

전기를 제어하는 기술이 산업을 바꾼다

28

Teen+Tech

자석으로 '띄우기만'
하는 게 아니다

Focus Story

2

Infographic

It's Hot, 차세대 모달리티

4

History

의약품 모달리티의 진화

8

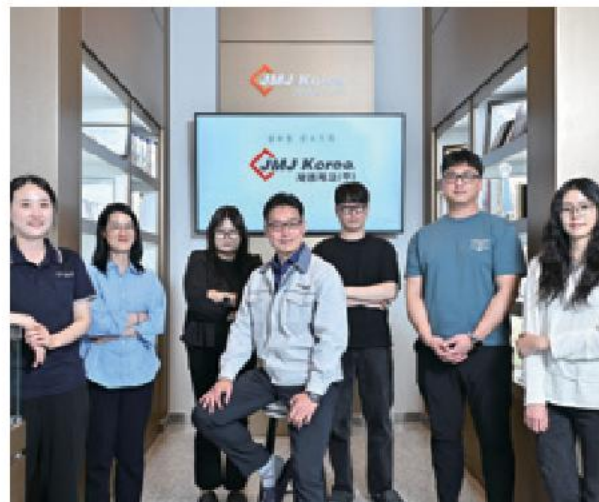
Film&Tech

영화 <베이맥스!>가 보여주는 의료의 미래

10

Flow

차세대 모달리티와 K-바이오파운드리,
복잡한 바이오 설계를 산업화하는 새로운 엔진



등록일자 2013년 8월 24일 발행일 2026년 6월 5일 발행인 한국산업기술기획평가원 원장직무대행 서용원 발행처 한국산업기술기획평가원, 한국산업기술진흥원, 한국공학한림원
 주소 대구광역시 동구 첨단로8길 32(신서동) 한국산업기술기획평가원 후원 산업통상부 편집 및 제작 (주)한경매거진엔북(02-360-4816)
 인쇄 한국장애인문화콘텐츠협회(02-2279-6760) 문의 한국산업기술기획평가원(053-718-8386) 잡지등록 대구동, 라00026
 본지에 게재된 모든 기사의 판권은 한국산업기술기획평가원이 보유하며, 발행인의 사전 허가 없는 기사와 사진의 무단 전재, 복사를 금합니다.
 필자의 원고 및 취재원의 인터뷰 방향은 한국산업기술기획평가원의 입장과 일부 차이가 있거나 다를 수 있습니다.



R&Dism

46

슬기로운 기술 생활
 비침습 바이오센서,
 내 몸의 시그널 읽어 건강을 모니터링하다

52

공학자의 시선
 이지일 울산과학기술원 생명과학과 교수
 끊어진 유전자 사슬을 회복하다:
 DNA 손상 복구

56

잡 인사이드
 김희식 한국생명공학연구원 세포공장연구센터장
 석유 대신 세포가 만드는 미래

60

Review
 목소리단 리뷰

61

독자 퀴즈

32

Tech Q&A
 똑소리 나는 일상 속 과학 이야기

34

R&D Sense
 #전력 반도체

35

R&D Policy
 첨단산업 경쟁 본격화, 글로벌 기술·공급망·투자전략 강화

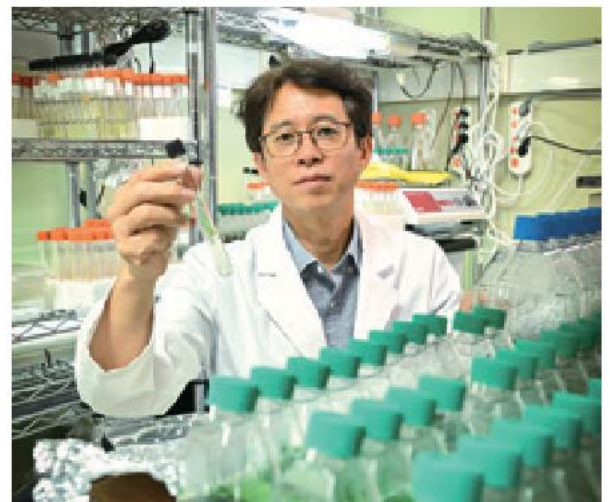
One More Tech

38

Tech for Earth
 그린테크, 아이들의 눈높이와 기업의 최전선에 서다

42

키워드 산책
 생명 활동의 보이지 않는 지휘자, 효소를 읽다



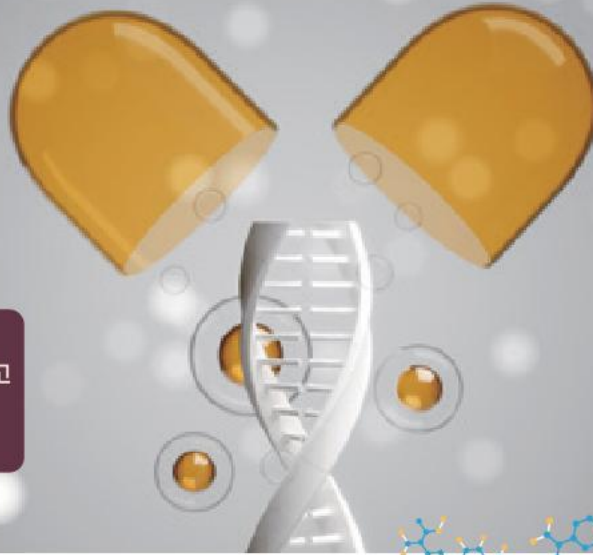
글로벌 바이오산업의 중심축이 빠르게 바뀌고 있다. 기존 저분자 화합물과 항체 의약품 중심에서 벗어나 ADC(항체-약물 접합체), CGT(세포·유전자 치료제), TPD(표적 단백질 분해) 등 차세대 모달리티 경쟁이 본격화되고 있다. 특히 'BIO USA 2026'에서는 고효율·고정밀 치료 기술과 플랫폼 경쟁력이 핵심 화두로 떠오를 전망이다.

IT'S HOT, 차세대 모달리티

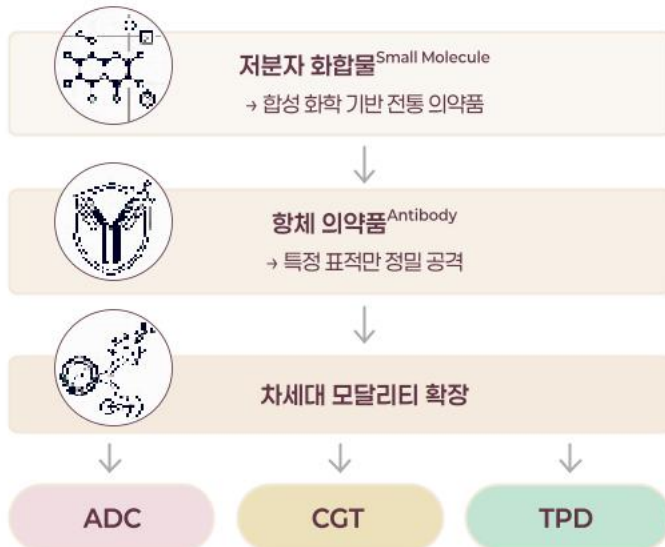
1 모달리티란?



신약 경쟁은 이제 '어떤 약을 만드느냐'를 넘어 '어떤 방식으로 치료하느냐'의 경쟁으로 확장되고 있다. 이를 '모달리티(Modality)'라고 부른다. 모달리티는 질병을 치료하는 방식이나 기술 플랫폼을 의미한다.



2 신약 모달리티의 확장



ADC ... 항체-약물 접합체

→ 항체와 약물을 결합한 차세대 항암 플랫폼

CGT ... 세포·유전자 치료제

→ 세포 유전자 자체를 치료

TPD ... 표적 단백질 분해

→ 질병 단백질을 제거하는 신규 접근

3 글로벌 차세대 모달리티 시장 확대

ADC 시장

2023년 97억 달러 → 2028년 198억 달러

출처 :마켓앤드마켓

세포치료 시장

2023년 47.4억 달러 → 2030년 200.7억 달러

출처 : 그랜드뷰리서치

TPD 시장

2025년 약 7억 달러 → 2033년 약 32억 달러

출처 : 그랜드뷰리서치

유전자치료 시장

2023년 55.4억 달러 → 2030년 182억 달러

출처 : 그랜드뷰리서치

→ “신약 패러다임 전환 본격화”

4 왜 차세대 모달리티인가?



5 'BIO USA 2026' 핵심 키워드

*'BIO USA'는 세계 최대 규모의 바이오·제약산업 행사로, 글로벌 제약사·바이오텍·투자자들이 모여 차세대 신약 기술과 산업 트렌드를 공유하는 대표 바이오 파트너링 행사다.



출처 : 'BIO USA 2026' 프로그램

6 차세대 모달리티의 과제

과제	생산 비용	안전성 검증	공급망 확보	규제 대응
핵심 이슈	<p>고가 생산 인프라 필요</p>	<p>장기 부작용 관리 중요</p>	<p>바이오 소재·CDMO 경쟁</p>	<p>새로운 치료 기준 필요</p>

의약품 모달리티의 진화

몸이 아프면 약을 먹어야 한다. 그러나 약의 치료 효율 향상 역시 과학기술의 발전에 달려 있다. 인류에게 더욱 건강한 삶을 보장하기 위해 발전해온 의약품 모달리티 이야기를 다뤄보았다.

글 이동훈 과학 칼럼니스트

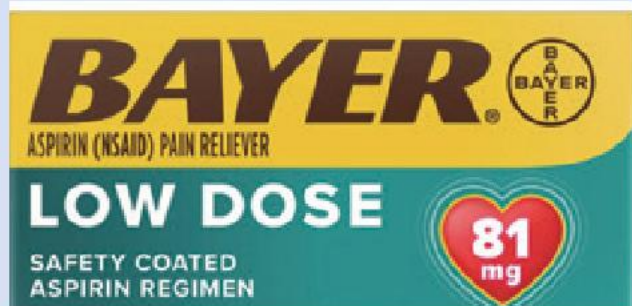
인류는 세상에 등장한 이래 거의 대부분의 시간 동안 자연에서 얻은 각종 유효성분을 그대로 의약품으로 사용했다. 흔히 말하는 생약이 이에 해당한다. 그러나 생약은 균일한 품질을 확보할 수 없고, 인간이 원하는 만큼 성능값을 높일 수도 없다는 문제가 있었다. 산업혁명 이전 인간이 이용할 수 있었던 유일한 에너지인 자연력과 마찬가지로였던 셈이다.

그러다가 19세기 들어 인간은 드디어 자연의 유효성분을 정제하고, 자연에는 없는 유효성분을 인공적으로 만들어내면서 의약품의 성능과 효율을 증진하기 시작한다.

19세기 : 정제와 합성의 시대

인류가 최초로 자연 속의 유효성분을 추출 및 정제해 만든 의약품은 다름 아닌 모르핀이었다. 양귀비를 이용해 만든 생약인 아편은 세계 여러 지역에서 진통제로 사용돼왔으나 생약의 한계상 약효가 균일하지 않았다. 어떤 때는 진통 효과를 못 보기도 하고, 어떤 때는 환자를 죽일 정도까지 가기도 했다.

이에 독일의 보조 약사 프리드리히 제르튀르너는 아편에서 진통 효과를 내는 유효성분만 추출해 투여하면 더욱 균일한



모르핀과 아스피린. 오늘날에는 정말 혼란스러운 의약품이지만 현대적 의약품의 효시와도 같은 제품이다.

치료 효과를 얻을 수 있고, 투여량에 따라 치료 효과의 크기도 조절할 수 있을 것이라는 가설을 세웠다. 그는 이를 입증하기 위해 아편 고형물을 산성 용액에 녹인 후, 암모니아를 가해 침전물(유효성분)을 얻는 화학적 분리 과정을 반복했다. 그 결과 1804년 그는 아편에서 통증을 멎게 하는 백색 결정을 분리하는 데 성공했다. 그는 이 물질의 이름을 그리스신화 속 잠의 신 ‘모르페우스^{Morpheus}’의 이름을 따서 ‘모르피움^{Morphium}(이후 모르핀으로 정착)’이라고 명명했다. 제르튀르너는 동물 실험 및 자가 실험을 통해 이 물질의 약효를 증명했다.

제르튀르너의 모르핀 발견은 자연물 속에서 의약품의 유효성분만 골라내 활용한 인류 최초의 사례였다. 이 발견을 계기로 퀴닌(말라리아 치료제), 코카인, 카페인, 니코틴 등 자연물에서 의약품의 유효성분을 추출하는 기술이 폭발적으로 발전했다. 기존에는 100% 천연 물질 채집에만 의존했던 의약품 생산방식이, 화학 기술을 이용해 공장에서 인간이 원하는 만큼 대량으로 생산하는 방식으로 바뀐 것이다.

또한 19세기에 인간은 과학기술을 통해 기존에 없던 유효성분도 만들어낼 수 있게 된다. 그 선두 주자는 다음

아닌 아스피린이다. 유럽에서는 전통적으로 흰 버드나무 껍질을 해열 진통제로 사용해왔다. 이 껍질에는 해열 진통 효과를 내는 살리실산이라는 물질이 있었기 때문이다. 그런데 살리실산은 산도가 높아 일부 환자들에게 위통과 위염을 일으켰다. 그 때문에 당시 과학자들은 산도를 낮추기 위해 살리실산을 아세틸화하는 연구에 몰두했다.

1853년 프랑스 화학자 샤를 제라르가 아세틸화 살리실산을 처음으로 합성했다. 이후 1897년 바이엘 제약회사의 아르투어 아이헨그린, 펠릭스 호프만이 합성해낸 아세틸화 살리실산은 제라르가 만든 유사 제품보다 순도와 안정성 등의 성능이 훨씬 좋았다. 바이엘사는 이 물질에 ‘아스피린^{Aspirin}(아세틸의 첫 글자인 A와 살리실산의 공급원인 조팝나무Spirea를 합성한 이름)’이라는 상품명을 붙여 1899년부터 판매, 전 세계적으로 큰 상업적 성공을 거두었다. 인류는 이외에도 다양한 신물질을 만들어 의약품에 활용해오고 있다.

20세기 의약품도 똑똑하게 : 표적 치료의 시대

하지만 이것이 마냥 좋기만 한 것은 아니었다. 이러한 신물질은 원래 ‘눈’이 없다. 환부와 건강한 부위를 가리지 않고

무차별적으로 작용하기 일쑤였다. 그리고 이것들은 자연에 전혀 없던 신물질이라 인체가 여기에 충분히 적응된 상태도 아니었다. 이는 치료 효과를 높이기 위한 투여량 증가와 그에 따른 부작용 증대라는 위험을 불러왔다.

이에 필요한 만큼만 정밀 작용하게끔 의약품의 ‘지능’을 높여 치료 효율을 높이고 부작용은 줄이기 위한 노력이 이어졌다. 이러한 노력은 의약품의 작용 시간과 작용 부위를 조절하기 위한 것으로 구체화되었다. 작용 시간의 조절은 20세기 중반 서방형 제제가 등장하면서 이루어졌다. 의약품 중에는 늘 체내의 의약품 농도를 일정하게 유지해줘야 하는 것이 있다. 서방형 제제가 나오기 전에는 투약 횟수를 늘려서, 그러니까 소량을 여러 차례 투약하는 방식으로 구현했지만, 이는 환자의 투약 거부도를 높일 수 있다. 하루에도 여러 차례 투약하면 귀찮지 않은가.

하루에 한 번 정도만 대량으로 투약하되 이 의약품이 체내에서 천천히 방출되도록 해, 체내의 의약품 농도를 유지하고 부작용도 최소화하는 것이 서방형 제제 기술의 핵심이다. 최초의 서방형 기술은 1952년 미국 제약사 스미스클라인앤드프렌치^{Smith, Kline & French}(현 GSK)가 개발한 스펀설^{Spansule} 기술이다. 이 회사는 하나의 캡슐 안에 녹는 속도가 제각각인 코팅된 알갱이들을 섞어서 넣었다. 어떤 알갱이는 즉시 녹고, 어떤 것은 4시간 뒤, 어떤 것은 8시간 뒤에야 녹는다.

1968년에는 미국의 알자사에서 삼투압 펌프 기술(Oral Osmotic System의 약자인 OROS 기술이라고도 불린다)을 개발했다. 이 기술은 알약 안에 삼투압 펌프를 설치한 것이다. 알약이 인체의 수분을 흡수하면 이 수분이 삼투압 펌프를 작동, 유효성분을 균일한 속도로 방출해준다. 다만 삼투압 펌프 기술이 특허를 얻고 알약 형태로 처음 상업화되어 시장에 나온 것은 1970년대 후반~1980년대 초반이다.

의약품의 작용 부위를 조절하려는 시도는 20세기 후반 바이오 의약품 및 나노 의약품 연구 성과가 나오면서 암 치료를 위주로 구체화되기 시작했다. 바이오 의약품이란 화학물질이 아닌 생명체의 단백질을 유효성분으로 사용하는 의약품이다. 나노 의약품이란 의약품의 유효성분 또는 그 전달체를 나노미터^{nm}(10억분의 1m) 단위로 정밀가공해 그 물성을 크게 높인 의약품이다. 이러한 의약품은 우리 몸의 면역체계가 이물질만 골라서 공격하듯이, 표적인 암세포만 식별하고 공격해 격파하는 방식으로 쓰이고 있다.

21세기 : 세포·유전자 치료제 및 뉴 모달리티

과거의 의약품은 질환이나 병원체를 공격하는 데 그쳤다. 그러나 21세기 들어 고도로 발전한 생명공학은 질병의 근본 원인이 되는 유전자 수준의 결함을 직접 교정하거나 생체 시스템 자체를 재설계함으로써 질병을 원천 봉쇄하고자 한다.

미국 알자사가 개발한 OROS 시스템의 원리. 알약이 체내에 투입되면 인체의 수분이 알약 아래쪽 삼투압층을 천천히 팽창시키고, 이에 알약 위쪽의 유효 물질이 알약 위쪽 구멍을 통해 일정한 속도로 방출되어 체내 약물 농도를 장시간 일정하게 유지한다.



더 구체적으로 파고들면 2003년 인간 게놈 프로젝트가 완료되어 인간 생명의 설계도가 확보되었고, 2000년대 후반 초기적인 유전자 가위인 탈렌-징크핑거가, 2012년 천연 유전자 가위인 크리스퍼가 확보되면서 유전자 정밀 편집을 통해 이러한 세포 및 유전자 치료제를 만들어낼 수 있게 된 것이다. 크리스퍼는 박테리아가 자신에게 침입한 바이러스의 DNA를 기억했다가 잘라버리는 데 쓰는 천연 면역 시스템이다.

이 기술을 사용해 세포·유전자 치료제^{CGT, Cell & Gene Therapy}의 제작이 가능해졌다. CGT는 세포 치료제, 유전자 치료제, 그리고 둘의 융합형인 유전자 변형세포 치료제 등 크게 세 가지가 있다.

세포 치료제는 살아 있는 세포를 분리·배양·가공해 환자에게 주입, 조직 재생 또는 면역세포 강화를 돕는다.

유전자 치료제는 환자의 몸 안 결함 유전자를 정상 유전자로 대체하거나, 특정 유전자의 발현을 조절하는 유전물질^{DNA, RNA}을 직접 주입하는 기술이다. 대표적인 사례로는 척수성 근위축증^{SMA}을 치료하는 졸겐스마 등이 있다. 다만 유전물질은 인체 내의 여러 효소에 취약하기 때문에 바이러스 알맹이에 치료용 정상 유전자를 이식해 세포 내에 침투시키는 트로이 목마법(바이러스 벡터), 치료용 유전자를 기름 성분의 나노미터급 주머니로 감싸서 보호하는 동시에 세포막 내로 침투시키는 LNP(지질 나노입자) 방식 등을 사용한다. 특히 코로나19 시국 때 전 세계에 공급된 mRNA 백신 역시 LNP 방식을 사용했다. 세포·유전자 치료제를 사용한 첨단 의료는 의외로 우리 가까운 곳에 있었던 셈이다.

유전자 변형세포 치료제는 환자의 몸에서 얻은 세포를 유전자 변형 기술로 강화해 환자에게 투입하는 방식이다. CAR-T (키메릭 항원 수용체 T세포) 기술이 대표적인 사례다. 환자의 혈액에서 면역세포인 T세포를 추출한 뒤, 여기에 암세포를 찾아내는 CAR(키메릭 항원 수용체)을 장착한 후 이를 다시 환자 몸에 넣어주면 체내에서 암세포를 찾아내 격파하는 것이다. 이는 백혈병 등 혈액암에서 높은 완치율을 보이고 있다.

2020년대 현재는 기존의 여러 세대 모달리티를 융합한 하이브리드 방식도 활발히 연구되고 있다. 표적(암세포 등) 정밀 타격이 가능한 항체 의약품에 재래식 화학 항암제를



코로나19 백신에도 세포·유전자 치료제 기술의 일종인 LNP 방식이 사용되었다.

연결해 암세포를 강력하게 정밀 공격하는 ADC(항체-약물 접합체), 질병 원인 단백질을 세포 내 청소 시스템에 연결해 통째로 분해, 기존 화합물 약물로는 공격할 수 없었던 85%의 단백질 영역도 공격 가능한 TPD(표적 단백질 분해) 방식 등이 각광받고 있다. 프로탁 등의 TPD 의약품은 화학적으로 합성된 19세기식 대량생산형 의약품이면서도 세포 내 재활용 시스템을 해킹하는 지능형 의약품이기 때문에 첨단 의약품 모달리티의 주요 기술로 여겨지고 있다.

이러한 첨단기술은 암이나 유전병 등 난치병을 퇴치할 수 있는 기술로 각광받고 있지만 아직 넘어야 할 난제도 많다.

유전자 치료는 사용되는 기술 수준이 너무 높은 데다 환자 개인 맞춤형인 경우가 많기 때문에 시술 비용이 억대에 달하는 등 너무 비싸다. 또한 정상 유전자와 세포를 잘못 공격할 위험성도 있다. 최첨단 의약품 모달리티가 널리 보급되기 위해서는 이런 문제들이 해결되어야 한다.



이동훈 과학 칼럼니스트

<월간 항공> 기자, <파퓰러사이언스> 외신기자 역임. 현재 과학·인문·국방 관련 저술 및 번역가. <과학이 말하는 윤리>, <화학 탐사> 등의 과학 서적을 번역했다.

우리는 모두 몸을 가지고 있기에 그 몸의 상태인 건강을 잘 유지해야 한다. 제4차 산업혁명으로 건강을 지키는 의료 방식 역시 급변하고 있다. 첨단기술이 열어가며 미래형 의료. 그 모습을 편안하면서도 빠릿게 전하는 애니메이션을 만나보자.

글 이경원 과학 칼럼니스트

영화 <베이맥스!>가 보여주는 의료의 미래

영화 포스터.

“모든 영화는 재난 영화”라는 말이 있다. 영화뿐 아니라 모든 서사물의 핵심을 관통하는 말이다. 모든 서사물은 거대한 도전에 맞선 인간의 응전, 그리고 그 속에서 피어나는 드라마를 통해 관객에게 감동을 선사하기 때문이다.

그런데 이러한 서사물의 특징 때문에 의학물, 특히 SF 의학물 중에는 비위가 약한 사람(필자도 포함된다)은 정말 눈 뜨고 못 보는 잔인한 작품이 많다. 현실 세계에서 질병과 부상당한 사람을 보는 것도 정말 괴로운데 SF로 넘어가면 그 질병과 부상의 정도가 더욱 심해지기 때문이다. 화면 속 누군가는 외계인이나 매드 사이언티스트, 우주 병원체의 공격으로 쓰러지고, 그가 내 주변 사람이 될 수도 있다는 생각이 드는 순간 두려움과 혐오감은 더 커진다.

하지만 이번에 소개할 작품 <베이맥스!>는 그런 걱정을 내려놓고 봐도 좋은 편안한 SF 의학물이다. 애당초 아동용 애니메이션이기 때문이다. 그렇지만 가벼이 넘길 수 없는 여러 가지 묵직한 함의를 담고 있다.

<베이맥스!>는 2014년에 나온 <빅 히어로>의 외전 격인 작품이다. 전작의 주인공인 의료 로봇 베이맥스가 여러 환자를 만나 그들을 치료해주는 내용을 다룬 옴니버스식 구성을 하고 있다.

우리의 자화상

극 중에 나오는 모든 환자는 처음에는 베이맥스의 처방을 받아들이려 하지 않는다. 베이맥스가 자신의 처방을 받아들이게 하는 데서 이 작품의 극적인 요소가 발생한다.



이런 모습은 우리와 꽤 닮았다. 우리도 건강하게 살고 싶지만, 정작 건강해지기 위해 필요한 일은 안 하거나 못하는 경우가 많지 않은가.

작품 속 환자들이 베이맥스의 처방을 받아들이기 어려워하는 주된 요인은 다름 아닌 생업이다. ‘건강 때문에 일을 쉬면 돈을 벌 수 없다’는 점에서 그들은 망설인다. 이 작품의 제작 국가가 다름 아닌 미국이라는 점을 생각하면, 이들의 핑계에 묵직한 설득력이 더해진다. 미국은 ‘건강 불평등’이 극에 달한 나라이기 때문이다.

베이맥스는
환자와 접촉해
치료하는 의료용
로봇이므로,
부상을 막기 위한
소프트 로봇공학이
적용돼 있다.



미국은 가난한 사람이 건강하게 살기가 너무나도 힘든 나라다. 미국의 의료보험은 저소득층을 위한 메디케이드, 65세 이상 노령층을 위한 메디케어 등 일부 계층만을 위한 공공 의료보험을 제외하면, 모두 사기업에서 운영하는 비싼 상품뿐이다. 이런 상품에 가입할 여력이 안 되는 사람들은 병원에 갈 때 천문학적인 의료 비용을 감수해야 한다. 의료 또한 거의 완전히 민영화돼, 의료 비용을 대부분 환자의 지출로만 충당하기 때문이다. 독사에 물린 환자를 치료하는데 무려 2억 원에 달하는 비용이 청구되었다니 알 만하다. 작품 속 베이맥스는 모든 환자를 무상으로 치료해주지만, 제작 국가 미국의 실정에 비하면 너무나도 동떨어진 이야기라는 데서 묘한 아이러니와 쓴웃음이 배어 나온다.

이상적인 의료 로봇

주인공 로봇 베이맥스는 여러모로 볼 때 지극히 이상적인 의료 로봇이다. 스캔을 통해 환자가 앓고 있는 질병을 알아내고, 질병마다 정확한 처방을 제시할 뿐 아니라 직접 치료도 가능하다. 또한 외피가 부드러운 소재로 돼 있어, 작업 중 사람이나 사물과 충돌해도 큰 피해를 입히지 않는다. 놀랍게도 베이맥스는 실존 과학기술에서 영감을 얻어 만들었다. 제작자 돈 홀은 <빅 히어로> 제작 수년 전 카네기멜론대학교 로봇공학연구소를 방문했을 때 소프트 로봇공학, 즉 팽창 가능한 부드러운 소재로 이루어진 로봇 기술의 연구개발 장면을 보았다. 이 기술은 노인과 장애인 등 거동이 불편한 사람의 식사와 목욕 등 일상생활을 돕기 위해 개발되었다. 이런 로봇은 특히 작업 중 사람을 다치게 해서는 안 된다. 그래서 외피에 풍선 같은 유연한 팽창식 소재를 사용했음은 물론, 내부 골격도 공압식으로

작동되게끔 만들어 부상 위험이 있는 단단한 부품의 사용과 노출을 최소화했다.

이런 로봇에는 여러 가지 장점이 있다. 기존 로봇보다 가벼운 소재로 제작할 수 있고, 사용하지 않을 때는 공기를 빼서 부피를 줄여 보관할 수도 있다. 또한 제작 과정 및 수리에 드는 에너지가 적어 환경을 덜 파괴한다. 현재 카네기멜론대학교 로봇공학자 크리스 애트키슨 교수 연구팀은 작품 속 베이맥스를 실제로 만드는 프로젝트를 진행하고 있으며, 이를 위해 기금을 조성하고 있다.



베이맥스를 현실로 만들겠다는 포부를 밝힌 로봇공학자 크리스 애트키슨.

물론 이외에도 베이맥스를 구현하는 데 필요한 기술은 다양하다. 환자의 상태를 파악하고 진단하는 인공지능 기술, 인간의 촉각 역할을 하는 유연 감각 센서 기술, 작동에 필요한 에너지 기술 등이다. 이 가운데 인공지능 기술은 스마트워치나 스마트폰 카메라 등의 센서로 간단한 건강상태를 검진하고, 의료용 거대 언어 모델로 환자를 문진해 처방을 제안하는 수준까지 발전했다. 유연 감각 센서 기술은 로봇의 외피에 압력·온도 센서를 인쇄하는 방식으로 구현돼 있으며, 현재는 로봇이 사람을 꺼안거나 움켜잡을 때 상대방의 옷 두께나 미끄러짐 정도까지 감지해 힘을 조절하는 순응 제어 기술을 개량하는 중이다.

특히 저출산·고령화에 직면한 우리나라는 노약자를 돌볼 인력조차 부족한 실정이다. 따라서 이런 로봇 개발에 미국 이상으로 많은 관심을 기울여야 할 것이다. 그런 부분에까지 생각이 닿게 하는 영화, <베이맥스>였다.



차세대 모달리티와 K-바이오파운드리, 
복잡한 바이오 설계를 산업화하는 새로운 엔진

세포와 유전자, AI가 융합된 차세대 바이오는 이제 단일 치료제 개발을 넘어 거대한 경우의 수를 빠르게 탐색하는 ‘플랫폼 싸움’으로 진화했다. 세계 최대 바이오 박람회인 ‘BIO USA 2026’을 앞두고, 대한민국이 기술 발견을 넘어 정밀 설계의 선도국으로 도약하기 위한 전략적 청사진을 제시한다.

글 이대희 한국생명공학연구원 합성생물학연구원센터장

최근 바이오산업의 흐름을 한 단어로 압축하면 복잡성이다. 과거의 의약품 개발은 비교적 명확한 표적과 단일한 작용기전을 중심으로 진행되었다. 그러나 이제 바이오는 세포, 유전자, RNA, 단백질, 미생물, 면역체계, 인공지능이 서로 맞물리는 복합 시스템으로 진화하고 있다. 항체 치료제, 세포·유전자 치료제, mRNA 백신, 마이크로바이옴 치료제, 합성생물학 기반 치료제 등 이른바 차세대 모달리티는 기존 의약품이 접근하기 어려웠던 질한 영역을 열고 있다.

문제는 가능성이 커진 만큼 설계와 제조의 난도도 함께 높아졌다는 점이다. 차세대 모달리티는 단순히 좋은 후보물질을 찾는 것으로 끝나지 않는다. 어떤 유전자를 넣을 것인가, 어떤 세포에서 발현시킬 것인가, 어느 정도 세기로 조절할 것인가, 생산공정에서 안정적으로 유지될 것인가, 환자에게 투여했을 때 예측 가능한 효과를 낼 것인가까지 고려해야 한다. 연구실에서 작동하는 기술이 산업 현장에서 반복 가능하고 안전한 제품으로 이어지려면, 설계·제작·시험·학습을 빠르게 순환시키는 체계가 필요하다. 바로 이 지점에서 바이오파운드리 역할이 중요해진다.

바이오파운드리는 생명공학의 자동화된 연구·제조 플랫폼이다. 반도체산업에서 설계도에 따라 칩을 제작하는 파운드리가 산업 발전의 핵심 인프라가 되었듯, 바이오파운드리는 생명체와 생체분자를 설계하고 검증하는 과정을 표준화·자동화·고속화한다. DNA 설계, 유전자 합성, 세포 제작, 고속 분석, 데이터 해석, 인공지능 기반 재설계를 하나의 순환구조로 연결함으로써 연구자의 직관에만 의존하던 바이오 연구를 데이터 기반 공학으로 전환한다.

특히 차세대 모달리티 개발에서 바이오파운드리는 세 가지 측면에서 큰 의미를 갖는다.

첫째, 탐색 속도를 높인다. 새로운 치료 모달리티는 설계 가능한 조합이 매우 많다. 예를 들어 세포 치료제에서는 수용체 구조, 신호전달 도메인, 발현 조절 요소, 세포 배양 조건이 모두 성능에 영향을 끼친다. RNA 치료제에서는 서열, 구조, 전달체, 안정성, 면역반응 회피 전략이 함께 고려되어야 한다. 마이크로바이옴 치료제와 합성생물학 기반 치료제에서는 미생물이 체내에서 어떤 신호를 감지하고 어떤 치료 기능을 수행할지 정밀하게 설계해야 한다. 사람이 하나씩 실험하기에는 경우의 수가 너무 많다. 바이오파운드리는 자동화와 고속 스크리닝을 통해 이 거대한 설계 공간을 빠르게 탐색하게 해준다.

둘째, 실패를 데이터로 바꾼다. 생명공학 연구에서 실패한 실험은 흔히 버려지는 결과로 취급된다. 그러나 바이오파운드리에서는 성공한 조건뿐 아니라 실패한 조건도 중요한 학습 데이터가 된다. 어떤 설계가 작동하지 않았는지, 어떤 조건에서 발현이 낮아졌는지, 어떤 조합에서 독성이 증가했는지를 추적하면 다음 설계를 더 정교하게 만들 수 있다. 이는 인공지능과 결합될 때 더욱 강력해진다. AI는 대규모 실험 데이터를 바탕으로 더 나은 후보를 예측하고,



합성생물학연구원 이대희 박사 연구팀. 자체 개발한 다중 유전자 고속 조립 플랫폼 ‘EffiModular’를 바이오파운드리 자동화 시스템에 적용하여 3일 만에 120가지 버전의 베타카로틴 생산 균주 라이브러리를 구축하는 데 성공했다.

바이오파운드리에 그 예측을 다시 실험으로 검증한다. 이 순환이 반복될수록 바이오 연구는 경험 중심에서 예측 중심으로 이동한다.

셋째, 산업화를 앞당긴다. 차세대 모달리티의 경쟁력은 과학적 독창성만으로 결정되지 않는다. 품질, 재현성, 생산성, 안전성, 규제 대응 가능성이 함께 확보되어야 한다. 바이오파운드리는 실험의 표준화와 데이터 관리 체계를 통해 초기 연구 단계부터 산업화 가능성을 검토할 수 있다. 이는 후보물질 발굴과 공정 개발 사이의 간극을 줄이고, 연구 성과가 실제 제품으로 이어질 가능성을 높인다.

‘BIO USA 2026’에서 주목해야 할 흐름도 이와 맞닿아 있다. 글로벌 바이오산업은 AI와 디지털 헬스, 차세대 바이오 치료제, 세포·유전자 치료제, 감염병 대응, 정밀의학, 바이오 제조 역량을 핵심 의제로 다루고 있다. 이는 바이오산업의 경쟁축이 단일 기술에서 플랫폼 경쟁으로 이동하고 있음을 보여준다. 앞으로 중요한 것은 하나의 치료제를 얼마나 잘 만드는가에 그치지 않는다. 다양한 모달리티를 얼마나 빠르게 설계하고, 검증하고, 제조하고, 임상과 시장으로 연결할 수 있는가가 국가와 기업의 경쟁력을 가를 것이다.

대한민국은 이 변화에 대응할 수 있는 좋은 기반을 갖추고 있다. 우리는 우수한 바이오 연구 인력, 세계적 수준의 정보통신 기술, 정밀 제조 역량, 병원·임상 인프라, 그리고 빠르게 성장하는 바이오벤처 생태계를 보유하고 있다. 여기에 국가 차원의 바이오파운드리 인프라가 결합된다면 한국은 차세대 모달리티 개발에서 전략적 선도국으로 자리매김할 수 있다.

다만 이를 위해서는 몇 가지 방향성이 필요하다.

첫째, 바이오파운드리를 단순한 장비 집합이 아니라 국가 바이오 설계 인프라로 보아야 한다. 자동화 장비를 구축하는 것만으로는 충분하지 않다. 설계 소프트웨어, 표준화된 실험 프로토콜, 고품질 데이터베이스, AI 분석 체계, 전문 운영 인력이 함께 갖추어져야 한다. 바이오파운드리의 본질은 장비가 아니라 반복 가능한 설계-제작-시험-학습 시스템이다.

둘째, 기초연구와 산업 수요를 연결해야 한다. 대학과 정부 출연 연구기관은 새로운 생물학적 원리와 플랫폼 기술을 만들고, 기업은 이를 제품과 서비스로 전환한다. 바이오파운드리는 이 둘을 연결하는 중간 지대가 되어야 한다. 초기 아이디어가



‘BIO USA 2025’ 한국관 전경. 다가오는 ‘BIO USA 2026’에서 주목해야 할 흐름 역시 다양한 모달리티를 다루는 플랫폼 경쟁이다. 다양한 치료제를 빠르게 설계하고 시장과 연결하는 K-바이오파운드리가 국가 미래 경쟁력의 핵심 엔진이 될 것이다.



2025년 12월 4일 구혁채 과학기술정보통신부 제1차관이 서울 구로구에 위치한 AI 바이오 기업을 방문해 '단백질-단백질 상호작용 분석 기술' 등에 대한 설명을 듣고 있다.



2025년 11월 12일 한국생명공학연구원과 싱가포르국립대학교^{NUS} 간의 합성생물학 기반 첨단바이오 제조 협력 업무협약^{MOU} 현장. 차세대 모달리티 고속 설계를 위한 글로벌 공동연구 및 혁신 생태계 구축의 일환이다.

빠르게 검증되고, 유망한 결과가 공정 개발과 사업화로 이어질 수 있는 개방형 협력 구조가 필요하다.

셋째, 규제와 안전을 기술 개발의 후반부가 아니라 초기 단계부터 함께 설계해야 한다. 차세대 모달리티는 생체 내에서 작동하거나 유전정보를 직접 다루는 경우가 많기 때문에 안전성·추적성·품질관리·윤리적 수용성이 매우 중요하다. 바이오파운드리에는 이러한 요소를 데이터로 관리하는 기반이 될 수 있다. 연구개발 초기부터 규제과학과 연결된다면 기술의 사회적 신뢰도 함께 높아진다.

넷째, 글로벌 협력을 강화해야 한다. 바이오는 국경을 넘어 움직이는 산업이다. 새로운 치료 기술, 생산 플랫폼, 임상 네트워크, 투자 생태계는 모두 국제적으로 연결돼 있다. 'BIO USA'와 같은 글로벌 무대는 단순히 기술을 소개하는 자리가 아니라 협력 파트너를 찾고, 한국의 전략적 위치를 보여주는 장이다. 한국의 바이오파운드리에는 국내 연구자와 기업을 지원하는 인프라를 넘어, 글로벌 공동연구와 산업 협력의 허브로 발전해야 한다.

차세대 모달리티 시대는 바이오 연구자에게 큰 기회이자 까다로운 숙제를 동시에 던진다. 질병을 더 정밀하게 이해하고,

환자 맞춤형 치료를 설계하며, 기존 치료제가 해결하지 못한 문제에 도전할 수 있는 길이 열리고 있다. 그러나 그 길은 복잡하다. 복잡한 생명 시스템을 다루기 위해서는 더 체계적인 설계 방법, 더 빠른 실험 플랫폼, 더 똑똑한 데이터 활용, 더 강한 제조 역량이 필요하다.

바이오파운드리는 바로 그 복잡성을 다루기 위한 새로운 엔진이다. 그리고 K-바이오파운드리는 한국 바이오산업이 다음 단계로 도약하기 위한 전략적 기반이 될 수 있다. 바이오의 미래는 더 이상 발견만으로 열리지 않는다. 이제는 설계하고, 만들고, 시험하고, 다시 배우는 나라가 앞서간다. 한국이 이 순환을 가장 빠르고 정교하게 구현한다면, 차세대 모달리티 시대의 중심에 설 수 있을 것이다.



이대희 한국생명공학연구원 합성생물학연구센터장

2011년 한국생명공학연구원에 합류한 이래 바이오화학연구센터, 바이오합성연구센터, 합성생물학전문연구단을 거치며 국내 합성생물학 연구의 기틀을 다졌다. 현재 합성생물학연구센터장을 맡고 있으며, 대한민국 바이오파운드리 인프라 구축에 힘쓰고 있다.

What is M.AX Series?

산업통상부가 주도하는 '제조AX^{M.AX} 얼라이언스'에는 AI 바이오를 비롯한 주요 산업 분과가 참여하고 있다. M.AX 얼라이언스 전문가들과 함께, 대한민국 핵심 산업이 딥테크와 결합해 어떻게 인공지능 전환^{AX}을 이뤄내는지 살펴본다.



추격에서 선점까지 : K-AI 바이오 로드맵

글로벌 제약-바이오산업이 인공지능^{AI}과 결합하면서 신약 개발 및 제조공정의 패러다임이 근본적으로 바뀌고 있다.

대한민국은 변화의 파고 속에서 추격자를 넘어 글로벌 시장을 선도하기 위해 'AI 융합 기반의 바이오 제조혁신 로드맵'을 본격적으로 가동 중이다. 2030년 초일류 AI 바이오 강국으로 도약하기 위한 대한민국의 현주소와 구체적인 실천 전략을 심도 있게 짚어본다.

글 김주은 국민대학교 교수 / M.AX 얼라이언스 AI 바이오 분과위원장

디지털 혁신이 이끄는 2030 AI 바이오 강국의 조건

2026년 현재 글로벌 바이오산업의 지형도가 거세게 요동치고 있다. 막대한 자본과 데이터를 앞세운 글로벌 빅테크 기업들이 인공지능^{AI}을 무기로 신약 개발과 바이오 제조 시장의 패러다임을 근본적으로 바꾸고 있기 때문이다. 과거 수십 년에 걸친 시행착오와 천문학적인 연구개발^{R&D} 비용이 투입되던 전통적인 방식은, 이제 수백만 건의 화합물 구조를 단숨에 분석하고 최적 제조공정을 시뮬레이션하는 AI의 연산 능력 앞에서 완전히 새로운 국면을 맞이했다. 이러한 글로벌 빅테크와의 격차를 단숨에 줄이고, 나아가 시장의 판도를 주도하기 위해 대한민국은 'AI 융합을 통한 바이오 제조혁신'이라는 원대한 목표를 설정하고 국가적 역량을 결집하고 있다.

최근 글로벌 공급망 재편의 파고 속에서 핵심 원료의약품^{API}과 핵심 중간체^{KSM}의 안정적인 공급 및 자립화는 단순한 산업의 문제를 넘어 국가 안보와 직결되는 최우선 과제로 부상했다. 이를 달성하기 위해서는 고도화된 제조공정과



디지털트윈과 AI 융합 기술이 전면 적용될 바이오파운드리 기반의 고도화된 품질관리시스템^{QbD}은 바이오 선도국으로의 도약을 이끈다.

품질관리시스템이 필수다. 대한민국은 기술 패권 경쟁에서 추격자^{Fast Follower}를 넘어 선도자^{First Mover}로 도약하기 위해 '디지털 의약품 제조혁신 사업', 'AI 기반 의약품 전주기 예측 통합 솔루션 개발', '디지털트윈 기반 바이오의약품 차세대 제조공정 기술 개발', 'AI 기반 표적 맞춤형 ADC 제조 자율 랩', 'AI 활용 디지털 CRO 플랫폼 구축', 'K-바이오파운드리 구축 사업' 등 굵직한 융합 프로젝트를 전면적으로 가동하며 2030년 AI 바이오 강국을 향한 실천 전략을 구체화하고 있다.

2026년 현주소 : 'AI 융합을 통한

바이오 제조혁신'으로 목표 확대

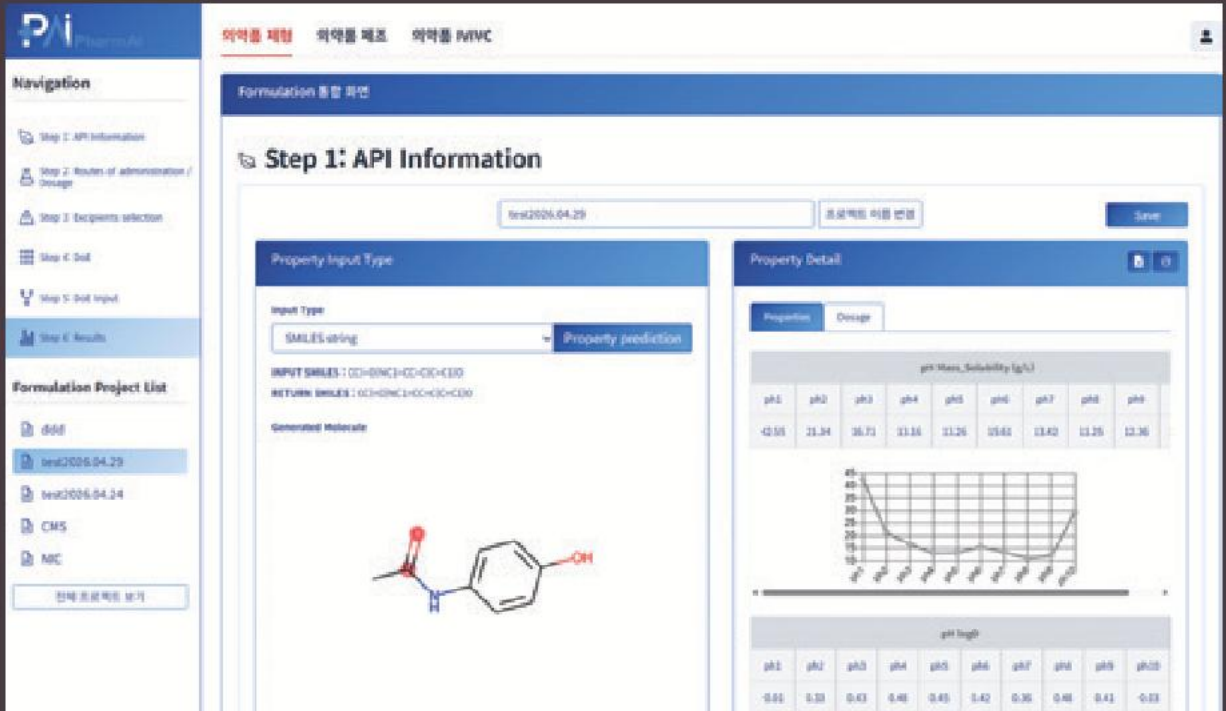
2026년 현재 대한민국의 목표는 연구소 안에서의 AI 활용을 넘어 현장의 실질적인 '바이오 제조혁신'으로 확대되었다. 이는 바이오 제조공정별로 특화된 AI 모델을 개발하고, 여기에 필요한 소재·부품·장비(소부장)를 선제적으로 국산화하며, 공공 의약바이오 제조혁신 거점을 구축하는 삼각 편대 전략으로 요약된다. 의약품은 규제 산업이며, 의약바이오 분야에서 그 중요성이 날로 커지고 있는 '설계 기반 품질 고도화^{QbD, Quality by Design}' 원리를 실제 생산 라인에 완벽히 구현하기 위해서는 디지털트윈과 AI의 결합이 절대적으로 필요하다. 현재 K-AI 바이오 로드맵은 이러한 견고한 과학적·공학적 토대 위에서

△AI 바이오 상용화 모델 및 첨단 AI 제조혁신 플랫폼 기술들 △AI 적용 상용화 소부장 △공공 제조혁신 거점 구축 사업 등 매우 혁신적이고 가시적인 성과를 창출하기 위해 나아가고 있다.

데이터가 그리는 미래 : 제조공정별 AI 모델 개발 현황

가장 돋보이는 성과는 단연 AI 모델의 현장 적용이다. 합성약품 분야에서는 최적의 의약품 제형과 제조공정을 스스로 설계하는 AI 모델 개발이 완료돼 연내 상용화를 강력히 추진 중이다. 이는 연구자의 직관과 경험에 의존하던 기존 처방 설계를 정밀한 데이터 기반의 예측 모델로 전환함으로써, 의약품의 제형 개발과 제조공정에 소요되는 시간과 비용을 혁신적으로 단축할 핵심 열쇠다.

더불어 바이오의약품의 생산성과 직결되는 배양 및 정제 공정을 가상공간에서 완벽히 모사하는 '디지털트윈 AI' 등 핵심 AI 플랫폼 모델들이 연내 예비 모델 개발을 목표로 순항 중이다. 배양용 디지털트윈 AI, 정제용 디지털트윈 AI, 독성 예측 AI, 불순물·유연물질 발생 예측 AI, 약동력학 예측 AI, 페이로드-링커 연계 최적화 예측 AI, 항체-약물 접합체^{ADC} 최적화 예측 AI 등이 포함된다.



AI 기반 의약품 제형 설계·제조공정·IVVC 예측 플랫폼 ‘PharmAI’의 구동 화면. 연구자의 직관과 경험에 의존하던 기존 방식에서 벗어나, 입력된 유효성분^{API} 데이터를 바탕으로 최적의 제형과 공정을 스스로 시뮬레이션하고 설계해낸다.

K-AI 바이오 로드맵 ‘삼각 편대’ 전략

분류	핵심 추진 과제 및 인프라	기대 효과 및 지향점
1축: 가상공간의 AI 모델	<ul style="list-style-type: none"> · 배양·정제 디지털트윈 AI · 약동력학^{PK} 예측 AI · 페이로드-링커 및 ADC 최적화 AI 	<ul style="list-style-type: none"> · 임상 실패 확률 획기적 감소 · 신약 탐색의 병목현상 해소 · 실험 자동화 및 초정밀 설계
2축: 지능형 소부장 자립	<ul style="list-style-type: none"> · 합성의약품 연속생산 장비 · 지능형 오토샘플러 · PAT(공정분석 기술) 지능화 부품 	<ul style="list-style-type: none"> · 배치 생산 한계 극복(연속생산) · 실시간 공정 제어 및 QbD 안착 · 인간 개입 최소화로 교차오염 차단
3축: 공공 제조혁신 거점	<ul style="list-style-type: none"> · K-바이오파운드리 센터(연내 착공) · 경북 안동 공공 CDMO 고도화 	<ul style="list-style-type: none"> · DBTL(설계-제작-테스트-학습) 가속화 · 중소 제약 벤처를 위한 스케일업 테스트베드

이 가운데 특히 ‘약동력학^{Pharmacokinetics} 예측 AI’는 신약 후보물질이 인체 내에서 흡수·분포·대사·배설되는 복잡다단한 과정을 높은 정확도로 시뮬레이션해 임상 실패 확률을 획기적으로 낮춰준다. 신약 개발 초기의 병목현상을 해소하는 중추적 역할을 하는 것이다. 2022년 미국식품의약품안전처^{FDA}는 의약품 개발 및 신약 개발 과정에서 의무적이던 동물 실험 요건을 80여 년 만에 폐지하는 법안^{FDA Modernization Act 2.0}을 통과시켰다. 이는 과학계와

제약·바이오산업에 큰 파장을 일으키며, 동물 실험을 대체할 새로운 기술^{NAMs, New Approach Methodologies}에 대한 기대를 높이고 있다. 최근에는 단클론항체 및 일부 의약품에 대한 동물 실험 요건을 추가로 면제하며 변화의 흐름을 가속화하고 있다. 또한 최근 차세대 항암제로 전 세계적으로 각광받는 ADC 및 고기능성 펩타이드 소재와 같은 고부가가치 의약품 개발에 필수적인 ‘페이로드-링커 연계 최적화 예측 AI’와 ‘ADC 최적화 예측 AI’는 미세한 구조적 차이가 효능을 좌우하는 첨단

바이오의약품 설계에서 타의 추종을 불허하는 정밀도를 제공할 것이다.

자립의 뼈대 : AI 기반 소부장 개발과 상용화

소프트웨어 격인 AI 모델의 진화는 이를 뒷받침할 하드웨어, 즉 첨단 소부장의 혁신이 병행되어야만 그 위력을 발휘할 수 있다. 아무리 뛰어난 AI가 완벽한 공정을 설계하더라도, 제조 현장의 설비가 이를 정밀하게 구현하지 못하면 반쪽짜리 혁신에 불과하기 때문이다. 현재 소부장 분야에서는 합성의약품 연속생산 장비 개발이 완료돼 연내 상용화를 앞두고 있다. 기존의 배치^{Batch} 생산방식을 탈피한 연속생산 공정은 품질의 균일성을 보장하고 생산효율을 극대화해 원가경쟁력을 높이는 차세대 의약품 제조의 핵심 패러다임이다.

이와 함께 바이오의약품 공정에 필수적인 3종의 지능형 소부장이 연내 시제품 개발을 목표로 박차를 가하고 있다. ‘배양·정제 활용 지능형 오토샘플러’, ‘PAT(공정분석 기술) 지능화 부품’, ‘ADC 제조 자동화 모듈’이 바로 그것이다.

여기서 PAT 지능화 부품은 제조공정 중에 실시간으로 물질의 물리적·화학적 특성을 분석하고 즉각적으로 공정을 제어해 앞서 언급한 QbD 체계를 현장에 완벽히 안착시키는 눈과 신경망 역할을 수행한다. AI 모델과 연동된 자동화 모듈 및 지능형 샘플러는 인간의 개입을 최소화해 교차오염의 리스크를 원천 차단하고 제품의 재현성을 한계치까지 끌어올린다.

혁신의 베이스캠프 : 공공 인프라 제조혁신 거점 구축

개별 기업이나 연구소 단위의 고군분투만으로는 거대한 자본력을 바탕으로 한 글로벌 빅파마와 빅테크의 연합에 맞서기 어렵다. 이에 정부는 산업 생태계 전체를 든든하게 떠받칠 ‘공공 인프라 제조혁신 거점’ 구축에 전례 없는 속도를 내고 있다. 그 핵심 인프라인 ‘바이오파운드리 센터’는 치밀한 계획 설계를 모두 마치고 연내 착공을 추진 중이다. 바이오파운드리는 생물학적 시스템을 설계^{Design}·제작^{Build}·테스트^{Test}·학습^{Learn}하는 소위 DBTL 사이클을 고도로 자동화하고 고숙화하는 인프라로, 향후 K-AI 바이오 생태계의 심장 역할을 완벽히 수행할 것이다.



연속공정 기반 의약품 생산시스템의 원료 투입 및 혼합 공정 구조. 여러 호퍼를 통해 투입된 원료가 실시간으로 혼합·분석돼 배치에 구애받지 않고 경구용 정제로 제조된다.



의약품 연속공정 제조 및 품질관리 통합 플랫폼의 실시간 원격감시 제어시스템^{SCADA} 구동 화면. 통합 대시보드를 비롯해 호퍼, 블렌더, 연속타정기, 롤러 콤팩터 등 핵심 장비별 실시간 공정 모니터링 기능과 함께 배치-펄스 로그 기록, 공정 변수 및 OPC 태그 등록, 장비별 이력 데이터 조회·관리 기능을 통합 지원한다.

또한 경북 안동에 위치한 공공 CDMO(위탁개발생산)의 고도화를 위한 장비 지원사업이 2026년 4월부터 본격적으로 착수되었다. 이 사업은 훌륭한 아이디어를 가졌음에도 자본력과 대규모 생산설비가 부족한 국내 딥테크 벤처와 중소 제약사들에게 가문의 단비가 될 것이다. 이 거점을 통해 기업은 자신이 개발한 SI 기반의 혁신 신약 후보물질이나 첨단 바이오 소재들을 실제 공정 수준으로 스케일업^{Scale-up}하여 생산해볼 수 있는 강력한 테스트베드를 제공받게 된다.

2030 AI 바이오 강국을 향한 제언

‘추격에서 선점까지’라는 로드맵의 지향점은 결코 화려한 수사나 선언에 그쳐서는 안 된다. 디지털 의약품 제조혁신, AI 의약품 전주기, 한국형 바이오파운드리, 그리고 지능형 소부장 사업은 흠어진 점이 아니라 하나의 거대한 유기체처럼 치밀하게 맞물려 돌아가는 톱니바퀴가 되어야 한다. AI 모델이



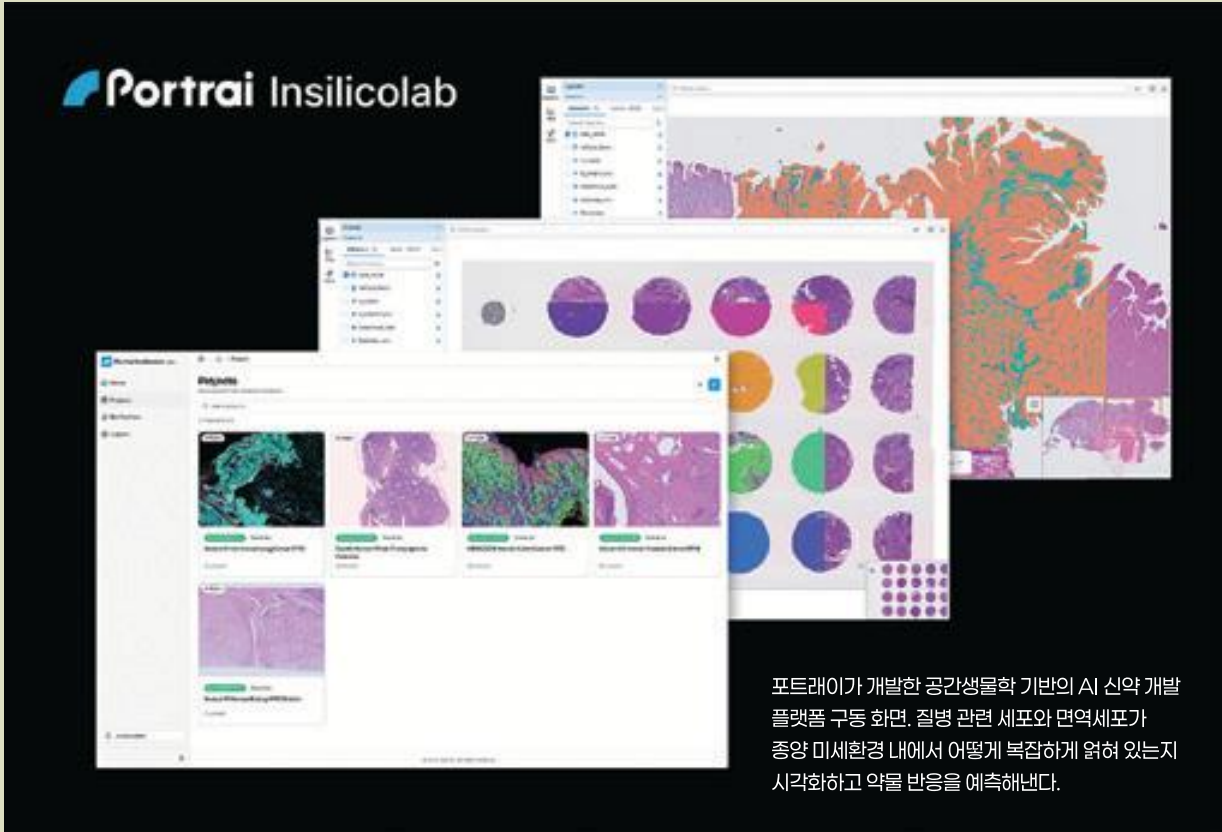
바이오의약품 제조 자동화 모듈 및 PAT 실시간 지능형 소부장 공정 현장.

가상공간에서 공정을 최적화하고, 지능형 소부장이 현실의 생산 라인에서 이를 한 치의 오차 없이 물리적으로 구현하며, 공공 제조혁신 거점이 이러한 기술들을 실증하고 확산시키는 선순환 구조가 확고히 정착될 때 비로소 K-바이오의 글로벌 초격차가 완성된다.

앞으로 우리가 마주한 과제는 명확하다. 한창 개발 중인 고도화된 AI 모델과 지능형 소부장 시제품들이 실험실의 성과를 넘어 실제 바이오 생산 라인에 신속히 투입되고 수익을 창출할 수 있도록, 관련 임상 및 실증 규제를 글로벌 스탠더드 이상으로 선진화해야 한다. 더불어 산·학·연·관의 긴밀한 협력을 통해 최신 제약바이오와 인공지능 기술을 모두 이해하는 융합형 전문 인력을 끊임없이 배출하는 토양을 마련해야 한다. 2026년 우리는 대한민국이 글로벌 AI 바이오 생태계의 변방이 아닌 중심에 우뚝 서기 위해 중차대한 골든타임을 지내고 있다. 수십 년간 축적된 K-바이오 제약의 굳건한 역량 위에 시라는 폭발적인 엔진을 장착한 대한민국 바이오산업이 2030년 세계 무대를 호령하는 초일류 강국으로 비상할 가슴 벅찬 내일을 기대해본다.



김주은 국민대학교 교수 / M.MAX 얼라이언스 AI 바이오 분과위원장
M.MAX 얼라이언스에서 AI 바이오 분과장을 맡고 있다. 유한양행 연구소 출신으로 의약품 제형·제조 전문가이자 AI 의약품 제형설계 세계 최초 개발자다. 산업통상부 장관상 2회 수상과 우수 과제 선정 등 수상 경력을 가지고 있으며, 현재 대한민국 AI 바이오 강국을 위해 산·학·연·병·관 AI 개방형 생태계를 제시하고 있다.



AI 만난 세포 지도, 신약 개발의 새 장을 열다

신약 개발 혁신 주도하는 공간전사체 기술

신약 하나가 세상에 나오기까지 평균 10년 이상의 시간과 수조 원의 비용이 투입되지만 임상 성공률은 10%에 불과하다. 공간전사체 기술과 AI를 결합해 신약 개발의 구조적 한계를 바꾸려는 포트레이의 도전이 주목받는 이유다.

글 김선녀 사진 김기남

실패율 90%... 신약 개발의 구조적 한계

신약 개발은 과학의 영역이지만, 동시에 확률의 게임이기도 하다. 글로벌 제약산업은 매년 수십조 원을 연구개발에 쏟아붓지만 임상에 진입한 후보물질의 90% 이상이 끝내 시장에 나오지 못한다. 실패의 상당 부분은 동물 실험 모델과 인간 조직 사이의 생물학적 간극에서 비롯된다. 동물 실험에서 효과를 보인 약물이 인간에게 같은 결과를 내지 못하는 이유는 동물 모델이 인간의 복잡한 중앙 미세환경^{TME}(암세포가 증식하고 진화하는 총체적인 환경)을 충분히 반영하지 못하기 때문이다. 신약 후보물질을 발굴하고도 실제 임상 단계에서 유효성과 안전성을 입증하지 못해 막대한 비용이 매몰되는 일이 반복되면서, 업계의 관심은 이제 '더 많이 실험하는 방식'에서 '더 정확하게 예측하는 방식'으로 이동하고 있다. 포트레이는 바로 이 지점에서 출발한 기업이다.

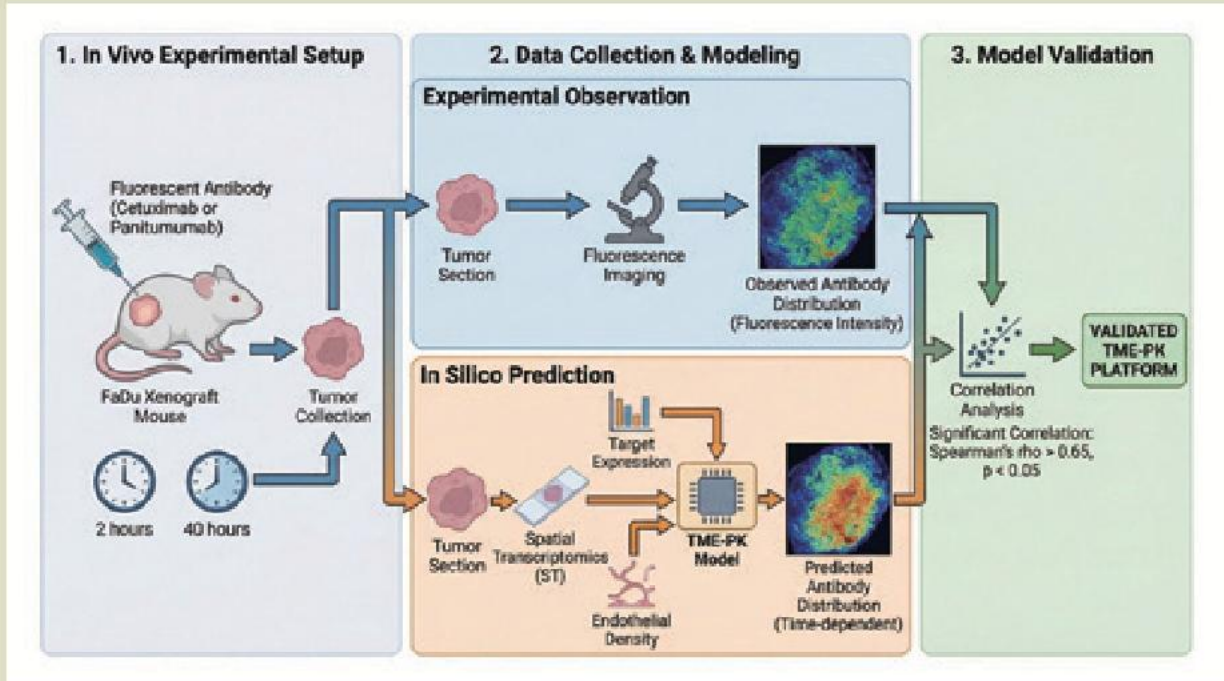
서울대 의대 출신 임상의 4인이 공동 창업한 포트레이는 신약 개발의 실패 비용을 구조적으로 줄이고 상용화 성공 가능성을 높이는 테크바이오 기업을 지향한다. 포트레이의 문제 인식은 신약 개발의 실패가 근본적으로 '데이터 부재'에 기인한다고 보는 데서 출발한다. 신약 개발의 성패는 인간 생물학을 얼마나 정교하게 데이터화하고 반복 가능한 검증 구조로 전환하느냐에 달렸다는 것이다. 이를 위해서는 대규모 데이터 확보와 AI 기반 사전 실험 체계가 맞물려야 한다. 결국 신뢰할 만한 데이터를 충분히 모으고, 이를 실제 연구개발에 쓸 수 있는 형태로 정리하는 것이 중요하다.

특히 공간생물학 데이터는 양이 매우 많고 구조도 복잡하다. 따라서 데이터를 쌓는 일 못지않게 이를 빠르게 처리할 수 있는 컴퓨팅 환경과 고품질의 표준화 데이터를 만들 수 있는 대량생산 체계가 함께 필요하다. 포트레이가 데이터 확보와 더불어 이를 처리할 수 있는 인프라를 강조하는 이유가 여기에 있다. 관건은 이 복잡한 데이터를 분석하고 예측하기 쉬운 '지도'를 만들어내는 일이다.

공간전사체 기술로 신약 개발 생태계 구축

포트레이가 보유한 주요 기술 중 하나는 공간전사체^{Spatial Transcriptomics} 기술이다. 기존 유전체 분석이 '어떤 유전자가 발현되는가'에 초점이 맞춰졌다면, 공간전사체는 여기에 위치 정보를 더한다. 쉽게 말해 기존의 벌크 분석이나 단일 세포 분석이 여러 과일을 갈아 만든 스무디의 성분을 분석하는 방식이라면, 공간전사체는 각각의 과일 성분을 분석할 뿐 아니라 개별 과일이 어떤 형태로 어디에 놓여 있는지 파악할 수 있도록 3차원 지도를 그려내는 기술이다. 이를 통해 질병 관련 세포와 정상세포, 면역세포가 실제로 어떻게 얽혀 있는지, 즉 질병 미세환경의 분포를 공간적으로 읽어낼 수 있다. 그 결과 약물이 정확히 어디로 침투해 어떤 반응을 일으킬지 예측할 수 있게 된다.

포트레이 기술의 핵심은 방대한 데이터를 한데 모아 정리하고 빠르게 분석해 의미 있는 결과를 찾을 수 있는 독자적인 플랫폼, 공간생물학 기반의 '생물학적 세계 모델'에 있다. 이 모델은 세 개의 핵심 축으로 작동한다. 먼저 다중 modal 엔진인 'VGL'^{Vision}



공간전사체ST 데이터와 AI 기술을 결합해 종양 미세환경 내 약물 반응을 예측하는 'TME-PK' 플랫폼 검증 도해. 가상 시뮬레이션과 실제 생체 데이터 간의 유의미한 상관관계 분석을 통해 플랫폼의 정밀도와 타당도를 입증한다.

Gene-Language⁹을 통해 조직 이미지와 유전자 발현 데이터를 해석하고, 약동력학 물리 엔진인 'TME-PK'를 통해 체내 주입된 약물이 조직으로 퍼지는 과정을 시뮬레이션한다. 또한 'TME-PD'¹⁰ 알고리즘을 통해 약물 도달 후 세포가 어떻게 반응할지 예측해낸다.

이러한 기술은 항암제처럼 정밀한 표적이 중요한 신약 개발에서 특히 강점을 발휘한다. 암세포와 면역세포의 물리적 거리와 상호작용 패턴을 분석해 특정 종양 미세환경에서만 발현되는 단백질을 짚어낼 수 있기 때문이다. 이를 통해 정상세포에 손상을 주지 않고 암세포만 정밀 타격해야 하는 항체-약물 접합체^{ADC}나 방사성의약품^{RPT}, T세포 인계이저^{TCE} 등 항암 치료제 개발에 큰 도움을 줄 수 있다. 포트래이는 이를 바탕으로 여러 기업과 새로운 신약 타깃을 찾거나 개발 우선순위를 선정하는 등 다방면의 협력을 추진 중이다.

실증에서 사업화로, AI 신약 개발 가속화

새로운 기술을 개발하는 것과 이를 실제 산업 현장에 적용하는

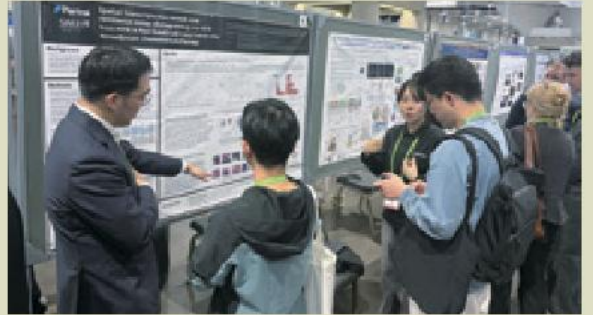
일은 또 다른 문제다. 포트래이는 실증 과정에서 방대한 양의 데이터를 처리하는 데 큰 어려움을 겪었다. 기존 컴퓨팅 환경으로는 PB(페타바이트) 단위로 쏟아지는 공간 배열 데이터를 감당할 수 없었기 때문이다. 이를 해결하기 위해 국내 최고 시스템 반도체 기업들과 차세대 바이오 IT 인프라 개발을 추진하면서 하드웨어 측면의 기반도 강화하고 있다.

이 지점에서 M.AX 얼라이언스가 갖는 의미도 분명해진다. 바이오산업도 이제 첨단 컴퓨팅과 제조 자동화가 결합된 새로운 단계로 나아가고 있는 만큼, 데이터 생산과 처리, 반도체와 컴퓨팅, 실험 자동화와 AI 분석을 하나의 생태계로 엮는 협력 구조가 필수적이다. 포트래이는 M.AX를 통해 이러한 이종 산업 간 융합 시너지를 극대화하는 데 기여하겠다는 목표를 갖고 있다.

사업화 측면의 성과도 가시화되고 있다. 포트래이는 3000건 이상의 환자 샘플과 세계 최대 규모인 1억2000만 개 이상의 공간 해상 세포 데이터를 기반으로 치료 타깃 발굴, 바이오마커 개발 등 신약 개발과 중개 연구에 기여하고 있다. 특히 2025년 10월 셀트리온과 최대 8775만 달러(약 1259억 원) 규모의

신약 탐색 공동연구 개발 계약을 체결하는 등 국내외 톱티어 제약사들과의 파트너십을 통해 기술의 상업성을 입증해가고 있다.

포트레이가 달성하려는 목표는 분명하다. 데이터를 바탕으로 물리적·생물학적 약물 반응을 최대한 정확하게 예측해낼 수 있는 완성형 생물학적 세계 모델을 구축하고, 글로벌 제약·바이오사를 대상으로 라이선스 아웃을 실현하는 것이다. 포트레이는 AI 바이오 대전환의 한가운데서 그 가능성을 현실로 바꾸는 시도를 이어가고 있다.



AACR 학회 현장에서 포트레이의 AI 기반 매핑 기술을 설명하는 모습. 포트레이는 대규모 공간 해상 세포 데이터 플랫폼을 바탕으로 글로벌 신약 개발 및 연구 생태계 구축에 앞장서고 있다.

Mini Interview

이대승 포트레이 대표

Q1. 기술 실증 과정에서 가장 어려웠던 점은 무엇인가요?

우선 공간전사체라는 개념을 대부분 모른다는 점이었습니다. 생물학 전공자들에게도 친숙한 개념은 아니어서 이 기술이 무엇이고, 어떤 의미와 가치를 지니는지 이해시키는 데 적지 않은 시간이 필요했습니다. 더 어려운 점은 기술 발전 속도가 매우 빠르다는 것입니다. 공간전사체는 상용화된 지 얼마 안 된 기술이라 데이터 구조나 포맷, 알고리즘 등이 계속해서 변화합니다. 그래서 빠르게 변화하는 기술에 즉각적으로 대응하고 관련 인프라를 갖추는 데 많은 노력을 기울여야 했습니다.

Q. 신약 개발 분야에서 데이터와 AI는 어떤 의미를 갖는다고 보시나요?

신약 개발에서 데이터는 현실을 담은 재료이고, AI는 그 현실을 해석하고 예측 가능한 형태로 바꾸는 도구입니다. 수많은 데이터를 기반으로 다양한 실험을 해야 하는데, 이 과정이 자동화돼 있지 않으면 모든 일을 사람의 손으로 처리해야 합니다. 고품질 데이터를 확보하고, 이를 통해 수많은 경우의 수를 경험할 수 있는 시스템을 만드는 것이 신약 개발의 성공률을 높이는 길이라고 생각합니다.

Q. 향후 더 큰 도약을 이루기 위해 가장 중요한 과제는 무엇이라고 보시나요?

궁극적으로는 어떤 환자의 종양이든 가상으로 약물 반응을 정밀하게 예측할 수 있는 완성형 생물학적 세계 모델을 구축하는 것입니다. 이를 위해서는 기술 고도화뿐 아니라

강건한 비즈니스 모델 구축과 상업성 입증이 뒷받침되어야 합니다. 진행 중인 셀트리온과의 공동연구를 성공적으로 완수하고, 자체 발굴한 파이프라인의 글로벌 라이선스 아웃까지 연결해 기술적 가치와 성장성을 시장에 입증하는 것이 핵심 목표입니다. 이와 더불어 바이오와 AI 분야에 대한 전문성과 이해도를 모두 지닌 융합형 인재를 확보하는 일도 매우 중요한 과제입니다.



전기를 제어하는 기술이 산업을 바꾼다

SiC 전력 반도체가 바꾸는 미래산업의 경쟁력

전기차와 AI, 데이터센터, 재생에너지 산업이 빠르게 성장하면서 전력 반도체의 중요성이 커지고 있다. 전기를 얼마나 효율적으로 변환하고 제어하느냐가 산업 경쟁력을 좌우하는 시대다. 제엠제코는 고효율 풀-실리콘카바이드^{Full-SiC} 전력 모듈 기술과 패키징·자동화 기술을 기반으로 전력 반도체 생태계 국산화에 도전하고 있다.

글 김선녀 사진 서범세



제엠제코(주)

연구과제명	1700V 250A급 저손실 Full-SiC Half-bridge Power Module 개발
제품명(적용 제품)	JEQ-1921
개발기간(정부 과제 수행기간)	2019년 4월 1일 ~ 2021년 12월 31일
총 정부출연금	6억2800만 원
개발기관	제엠제코㈜
참여 연구진	최윤화, 이태현, 최순성, 송창선, 조정태, 최인숙, 조정훈, 최현화, 최정호, 김영훈, 임시근, 박상현, 김재영, 장경운

전기를 바꾸는 반도체, 산업의 핵심이 되다

반도체라고 하면 일반적으로 연산과 데이터를 처리하는 CPU나 메모리 반도체를 떠올리기 쉽다. 하지만 전기를 실제로 ‘사용 가능한 형태’로 바꿔주는 역할은 전력 반도체가 담당한다. 우리가 사용하는 스마트폰 충전기, 전기차 구동 시스템, 데이터센터 전원장치, 철도와 산업용 인버터까지 대부분의 전자 시스템에는 전력 반도체가 들어간다.

전기는 발전소에서 교류^{AC} 형태로 생산되지만, 반도체와 배터리, 전자기기는 대부분 직류^{DC}를 사용한다. 따라서 교류를 직류로 변환하고, 필요한 전압으로 조절하는 과정이 반드시 필요하다. 이 역할을 수행하는 것이 바로 전력 반도체다. 최근 전기차와 AI 데이터센터처럼 대량의 전력을 빠르고 효율적으로 처리해야 하는 산업이 늘어나면서, 전력 반도체의 성능은 시스템 전체 효율을 결정하는 핵심 요소가 되고 있다.

제엠제코는 이러한 전력 반도체 분야에서 소재·부품·장비를 모두 아우르는 기술을 확보하고 있는 기업이다. 전력 반도체 패키징 소재 양산과 후공정 자동화 장비, 전력 모듈 기술을 자체 개발해 전체 매출의 80% 이상을 해외로 수출하고 있다. 특히 2025년 ‘1천만불 수출의 탑’을 수상하며 글로벌 시장에서 기술력을 인정받았다.

SiC 전력 반도체, 효율 경쟁의 판을 바꾸다

최근 전력 반도체 시장에서 가장 주목받는 기술은 SiC(실리콘카바이드) 기반 전력 반도체다. 기존 실리콘^{Si} 기반 반도체보다 고전압·고온 환경에서 효율이 높고 전력 손실이

적어 전기차와 재생에너지, 데이터센터 분야에서 빠르게 적용이 확대되고 있다.

제엠제코가 개발한 ‘1700V 250A급 저손실 풀-실리콘카바이드 하프-브리지 전력 모듈’^{Full-SiC Half-bridge Power Module} 역시 이러한 흐름 속에서 탄생한 기술이다. 이 모듈은 고전압·대전류 환경에서도 전력 손실을 낮추고, 높은 신뢰성을 확보한 것이 특징이다. 특히 반도체 소자와 패키지의 리드프레임을 연결하는 ‘메탈 클립 본딩’ 기술과 ‘초음파 웰딩 기반 접합 기술’이 핵심 경쟁력으로 꼽힌다.

기존 전력 반도체 패키징에서는 가느다란 알루미늄 와이어를 여러 개 연결해 전류가 흐르는 길을 만들었다. 하지만 전류가 커질수록 와이어 자체의 전기저항과 발열 문제가 커지고, 장기간 사용할 때 접합부의 신뢰성에도 한계가 생길 수 있다. 제엠제코의 메탈 클립 본딩 기술은 이러한 와이어 대신 구리 소재의 넓은 금속 클립을 사용해 반도체 소자와 리드프레임을 직접 연결하는 방식이다. 전류가 지나가는 길이 넓어지는 만큼 전기저항이 낮아지고, 열을 밖으로 빼내는 능력도 향상된다. 그 결과 대전류 전송과 방열 성능이 중요한 전력 반도체 모듈에서 좀 더 안정적인 성능을 구현할 수 있다.

초음파 웰딩 기반 접합 기술은 고주파 진동을 이용해 금속과 금속을 강하게 접합하는 기술이다. 기존 솔더, 즉 납땜 방식은



자체 기술력으로 구축한 제엠제코의 전력 반도체 패키징 자재 준비 및 검수 현장. 제엠제코는 패키징 소재부터 자동화 장비, 모듈 기술까지 전 과정을 내재화하여 전력 반도체 생태계 국산화에 도전하고 있다.



제엠제코 생산 라인에서 작업자가 전력 반도체 패키징에 사용되는 대형 릴 자재를 다루고 있다. 제엠제코는 전력 반도체 패키징 소재 양산과 후공정 자동화 장비 기술을 자체 개발해 전체 매출의 80% 이상을 해외 수출로 달성하고 있다.

열이 반복적으로 가해지는 환경에서 접합층이 약해지거나 깨질 수 있다는 한계가 있었다. 반면 초음파 웰딩은 접합 부위에 미세한 진동에너지를 가해 금속 표면을 결합하는 방식으로, 접합 강도와 내구성을 높일 수 있다. 특히 전력 반도체처럼 작동 중 열이 많이 발생하고 온도 변화가 반복되는 부품에서는 접합부의 안정성이 제품 수명과 직결된다. 제엠제코는 이 기술을 통해 고전압·대전류 환경에서도 모듈의 신뢰성을 높이는 데 집중했다.

이를 바탕으로 제엠제코는 1700V 250A급 전력 모듈 시제품을 성공적으로 고도화했으며, 공정 최적화를 통해 1700V 450A급 제품까지 양산 준비를 완료한 상태다.

전력 반도체 생태계, 이제는 ‘국산화’의 문제

전력 반도체는 단순히 하나의 부품 산업이 아니다. 소재와 금형, 도금, 자동화 장비, 패키징, 테스트 시스템까지 복합적인 산업 생태계가 함께 움직여야 가능한 분야다. 문제는 국내 전력 반도체 생태계가 충분히 구축되지 않았다는 점이다. 현재 국내 전력 반도체 시장은 대부분 해외 공급망에 의존하고 있으며, 핵심 소재와 장비 역시 일본과 미국 기업이 강세를 보이고 있다.

제엠제코는 이러한 한계를 극복하기 위해 소재와 장비, 공정 기술을 직접 내재화하는 방식으로 성장해왔다. 실제로 쿨링 소재 개발 과정에서는 금형 설계와 가공, 자동화 장비까지 자체

구축해야 했고, 테스트베드 역시 직접 마련해야 했다. 이는 한 기업의 성장 차원을 넘어 국내 전력 반도체 산업 생태계를 구축하는 과정과도 맞닿아 있다.

전력 반도체는 전기차와 AI 데이터센터뿐 아니라 방산, 철도, 재생에너지, 로봇산업까지 미래산업 전반기의 기반 기술로 꼽힌다. 특히 전력효율이 산업 경쟁력을 좌우하는 시대가 되면서, 고효율 전력 반도체 기술 확보는 국가 전략산업 차원의 과제가 되고 있다. 앞으로 전력 반도체 산업은 단순한 부품 경쟁을 넘어, 누가 더 강한 산업 생태계를 구축하는가의 경쟁으로 이어질 가능성이 크다.

제엠제코(주)는?

전력 반도체와 인공지능 데이터센터에 필수적인 소재 양산, 후공정 자동화 장비 판매, 전력 반도체 패키징 서비스 등을 제공하며, 소재·부품·장비(소부장) 전 공정 시스템 분야의 기술경쟁력을 확보하고 있다. 전체 매출의 80% 이상을 해외 수출로 달성하고 있으며, 2025년 ‘1천만불 수출의 탑’을 수상했다. 전력 반도체 분야에서 핵심 특허등록 180건, 출원 62건을 보유하고 있으며, 독자적인 소재 및 제조 역량을 인정받아 부산시 (프리)엔지니어 기업으로 선정되었다. 이를 바탕으로 글로벌 시장 확장 가능성과 우수한 성장잠재력을 인정받으며 지역 경제와 산업 발전에 기여하고 있다.



“
전력 반도체는 단순한
부품이 아니라
국가 전략산업으로
바라볼 필요가 있습니다.

”

Q1. 전력 반도체를 쉽게 설명한다면 어떤 기술이라고 볼 수 있을까요?

전력 반도체는 전기를 ‘기계와 반도체가 먹기 좋은 형태’로 바꿔주는 기술이라고 생각하면 쉽습니다. 전기는 발전소에서 교류로 오지만, 전자기기와 배터리, 반도체는 대부분 직류를 사용합니다. 이 전기를 변환하고 제어하는 과정에 전력 반도체가 반드시 필요합니다. 스마트폰 충전기부터 전기차, 데이터센터, 철도, 드론까지 움직이는 거의 모든 시스템에 들어가는 핵심 기술입니다.

Q2. 최근 SiC 전력 반도체가 주목받는 가장 큰 이유는 무엇인가요?

결국 효율 때문입니다. 기존 실리콘 기반 전력 반도체보다 전력 손실이 훨씬 적고 발열이 낮습니다. 같은 전기를 써도 더 강한 성능을 낼 수 있다는 의미죠. 특히 AI 데이터센터나 전기차처럼 전기를 많이 사용하는 산업에서는 전력효율 차이가 곧 비용 경쟁력으로 연결됩니다. 앞으로는 전력효율을 얼마나 높이느냐가 산업 경쟁력 자체가 될 가능성이 큼니다.

Q3. 이번 기술 개발에서 가장 중요하게 본 부분은 무엇이었나요?

신뢰성과 방열 성능이었습니다. 전력 반도체는

고전압·대전류 환경에서 작동하기 때문에 열과 접합 신뢰성이 매우 중요합니다. 그래서 저희는 기존 솔더 접합 대신 초음파 웰딩 기술을 적용했고, 클립 본딩 기술로 전기 저항과 발열을 줄이는 데 집중했습니다. 결국 전력 반도체는 ‘얼마나 안정적으로 오래 버티느냐’가 핵심입니다.

Q4. 제엠제코만의 차별화된 경쟁력은 무엇이라고 보시나요?

저희는 반도체 제품만 만드는 회사가 아닙니다. 소재와 공정, 자동화 장비까지 함께 개발합니다. 국내에는 아직 전력 반도체 생태계가 충분히 구축되지 않아, 필요한 기술을 직접 만들어야 하는 경우가 많았습니다. 그래서 금형, 클립 소재, 자동화 장비, 테스트 환경까지 자체적으로 구축해왔고, 이런 경험이 지금의 경쟁력이 됐습니다.

Q5. 앞으로 국내 전력 반도체 산업이 어떤 방향으로 가야 한다고 보시나요?

결국은 생태계입니다. 전력 반도체는 하나의 기업만으로 완성할 수 있는 산업이 아닙니다. 소재, 도금, 장비, 공정, 테스트까지 모두 연결되어야 합니다. 지금은 국내 산업 생태계를 키워야 하는 단계라고 생각합니다. 미래산업이 전기 중심으로 재편되는 만큼, 전력 반도체는 단순한 부품이 아니라 국가 전략산업으로 바라볼 필요가 있습니다.

자석으로 '띄우기만' 하는 게 아니다

자기부상열차는 1mm 단위의 거리 측정과 마이크로초 단위의 계산을 통해 씬 없이 밀고 당김을 조절하는 극한의 정밀 제어 기술이다. 바퀴의 마찰과 소음을 없애고 초고속 시대를 여는 자기부상열차의 진짜 원리를 살펴본다.

글 박재용 작가

자기부상열차^{Maglev, Magnetic Levitation Train}는 자석의 힘으로 공중에 뜬 채 달리는 열차다. 바퀴가 없다. 전자석으로 열차를 띄우고, 자기장의 힘으로 달린다. 현재 세계에서 상업 운행

우리나라에서 운행 중인 인천공항 자기부상열차. 열차 하부의 전자석이 레일을 끌어당겨 부상하는 EMS(전자기력 부상) 방식을 적용했다.



중인 자기부상열차는 몇 개 없다. 중국 상하이공항 노선(시속 430km), 일본 아이치와 나가사키 사이 짧은 구간, 한국 인천공항 셔틀(시속 110km). 일본은 2034년 개통을 목표로 도쿄-나고야 리니어 신칸센(시속 505km)을 건설 중이다. 자기부상열차라고 하면 ‘자석으로 공중에 띄다’는 이미지가 먼저 떠오른다. 이는 절반만 맞다. 자기부상열차는 단순히 띄우기만 하는 게 아니라 밀고, 당기고, 균형 잡고, 달리고, 멈추는 모든 걸 전자석으로 한다.

왜 영구자석이 아닌 전자석일까?

자기부상열차는 전자석을 쓴다. 전기를 흘려야 자성이 생기는

자석이다. 이유는 제어다. 영구자석은 항상 같은 세기로 끌어당기거나 밀다. 조절이 되지 않는다. 반면 전자석은 전류의 세기를 바꿔서 자기장을 조절할 수 있다. 강하게 끌어당기다가, 약하게 하다가, 아예 끄다가, 반대로 밀어내는 것도 가능하다. 승객이 움직이거나, 바람이 불거나, 레일이 조금이라도 휘어 있으면 즉시 반응해서 자기장을 조절한다. 영구자석으로는 불가능한 일이다.

떠오름의 비밀 : 극도로 불안정한 균형

자석으로 공중에 띄우는 건 생각보다 어렵다. 두 자석을 마주 보게 하면 밀어내긴 하지만, 옆으로 살짝만 밀면 뒤집힌다.



자기부상열차의 두 가지 핵심 부상 방식 단면도. 왼쪽은 차량 자석과 선로 코일이 상호작용하여 열차를 띄우는 EDS(전자기 유도 부상) 방식이고, 오른쪽은 열차 하부의 전자석이 레일을 감싸안고 위로 끌어당기는 EMS(전자기력 부상) 방식이다.

자기부상 방식 비교

구분	EMS(전자기력 부상) 방식	EDS(전자기 유도 부상) 방식
부상 원리	열차 하부 전자석이 레일을 끌어당기는 힘(인력)을 이용함	전자석(초전도 자석)이 레일 코일을 밀어내는 힘(척력)을 이용함
부상 높이	약 1cm	약 10cm
부상 조건	정지 상태에서도 부상 가능함	열차가 빠르게 달릴수록 레일 코일에 유도 전류가 강해져 부상함
활용 장점	정지 및 저속에서도 안정적이어서 도심 노선에 적합함	속도가 빠를수록 부상력이 커져 초고속 주행에 유리함
대표 사례	상하이공항(시속 430km), 인천공항 셔틀(시속 110km)	일본 리니어 신칸센 (최고 시속 603km 기록, 향후 800km 목표)

정적인 자기장만으로는 물체를 안정적으로 공중에 띄울 수 없다는 ‘언쇼의 정리^{Earnshaw's Theorem}’ 물리 법칙이 있다. 그래서 실시간 제어가 필수적이다. 센서가 열차와 레일 사이 거리를 1mm 단위로 측정한다. 레일과 멀어지면 강한 전류로 강하게 끌어당기고, 가까워지면 전류를 약하게 해서 민다. 이 과정이 초당 수만 번 반복된다. 컴퓨터가 센서 데이터를 받아 1/1,000,000초(마이크로초) 단위로 계산하고, 반도체 스위치가 전류를 매우 빠르게 조절한다. 액체로켓 엔진의 터보펌프 제어처럼, 극한의 정밀도가 요구되는 실시간 제어 기술이다.

두 가지 방식 : EMS vs EDS

자기부상 방식은 EMS와 EDS 이렇게 두 가지다. EMS는 열차 하부 전자석이 레일을 끌어당기며 뜬다. 부상 높이 약 1cm. 정지 상태에서도 작동해 도심 서틀에 적합하다. 상하이 공항(430km/h), 인천공항(110km/h)이 이 방식이다.

EDS는 전자석이 레일 코일을 밀어낸다. 부상 높이 약 10cm. 대부분 초전도 자석을 쓴다. 속도가 빠를수록 유도 전류가

강해져 더 안정적으로 뜬다. 일본 리니어 신칸센이 이 방식으로 시속 603km를 기록했고, 향후 800km를 목표로 한다.

핵심은 직선형 전동기^{Linear Motor}

자기부상열차는 어떻게 움직일까? 답은 직선형 전동기다. 레일에 코일이 길게 깔려 있다. 열차 아래에는 전자석이 있다. 레일의 코일에 전류가 흐르면 자기장이 생긴다. 이 자기장이 열차의 전자석을 밀거나 당긴다. 자기력이다. 열차 앞쪽 레일은 열차를 당기고, 뒤쪽 레일은 밀어낸다. 열차가 움직이면 그에 맞춰 레일의 코일에도 전류가 흐르고 멈춘다.

속도 제어는 전류 제어로 이루어진다. 레일에 깔린 수많은 코일에 순차적으로 전류를 흘리는데, 인버터가 전류의 주파수를 바꿔서 자기장이 이동하는 속도를 조절한다. 주파수를 높이면 가속, 낮추면 감속, 역방향으로 하면 제동이다. 시속 500km 이상의 고속에서도 정밀한 제어가 가능하다. 브레이크 패드도, 마찰도 필요 없다. 순수하게 자기장으로만 제어한다.



자기부상열차를 앞으로 달리게 하는 ‘직선형 전동기’의 이동 원리. 레일에 길게 깔린 코일의 자기장과 열차 하부의 전자석이 상호작용하여, 앞쪽 레일은 열차를 당기고 뒤쪽 레일은 밀어내는 연속적인 자기력을 통해 추진력을 얻는다.



독일의 트란스라피드 기술을 도입해 완성한 중국 상하이 자기부상열차^{SMT}의 모습.

일반 철도는 바퀴-레일 마찰 때문에 시속 300~350km가 한계다. 자기부상은 공중에 떠서 달린다. 일본 리니어는 시속 603km를 기록했고, 향후 800km까지 목표로 한다. EDS 방식은 속도가 빠를수록 더 강하게 뜬다. 열차가 빠르게 지나가면 레일의 코일에 전류가 유도된다. 속도가 빠를수록 유도 전류가 강해지고 부상력도 커진다. 속도가 빠를수록 더 안정적이다.

자기부상열차의 장점

첫째, 운영 효율이 높다. 바퀴와 레일이 마모되지 않아 유지보수 비용이 적게 들고, 마찰이 없어 에너지 손실도 적다. 제동할 때 운동에너지를 전기로 회수하는 회생제동도 효율적이다.

둘째, 지형 제약이 적다. 자기장으로 밀어내기 때문에 급경사를 잘 오르고, 전자석으로 균형을 조절해 급커브도 빠르게 통과한다. 노선 설계의 자유도가 높다.

셋째, 소음과 진동이 거의 없다. 바퀴가 레일을 두드리는 소리나 진동이 없다. 시속 500km로 달려도 조용하고 부드럽다. 기존 철도 주변 주민들의 가장 큰 민원이 소음과 진동이다. 자기부상은 이 문제를 근본적으로 해결한다. 방음벽도 필요 없다.

현재의 문제들

주로 경제적 문제다. 우선 건설 비용이 높다. 레일에 정밀한 코일을 깔고, 제어시스템을 설치하고, 전력공급 설비를 갖추는 비용이 일반 고속철의 2~3배다. 더구나 기존 레일을 이용할 수 없다.

화물 수송도 거의 불가능하다. 중력을 거슬러 띄우려면 무거운 물체일수록 힘들기 때문이다. 화물 컨테이너는 하나가 20~30톤이다. 이런 무거운 화물을 실으면 부상 시스템에 엄청난 부담이 간다. 또 화물은 속도보다 비용이 중요하다. 화물 운송에는 경제성이 없다. 하지만 여객만으로는 경제성을 확보하기 어렵다는 점이 문제다.

그렇다면 어디에 쓸 수 있을까?

도심에서는 명확한 가치가 있다. 소음과 진동이 없다는 게 결정적이다. 소음과 진동은 주변 주민들의 가장 큰 민원이다. 밤낮으로 지하철이 지나가는 덜컹거리는 소리와 진동. 방음벽으로도 완전히 막을 수 없다. 자기부상은 이 문제를 근본적으로 해결한다. 건설비는 비싸지만, 소음 관련 사회적 비용을 고려하면 경쟁력이 있다.

초고속 장거리 노선은 비행기의 대안이다. 서울~부산 간 비행은 1시간이지만, 전체 과정을 합치면 4시간 가까이 걸린다. 날씨에 취약해 지연도 잦다. 자기부상열차는 서울역에서 부산역으로 직접 연결된다. 1시간 안에 도착한다. 날씨 영향도 덜 받는다. 비용도 비행기보다 훨씬 저렴하다. 일본 리니어 신칸센이 2034년 개통하면 세계 최초의 장거리 고속 자기부상 노선이 된다. 그 성공 여부가 자기부상열차의 미래를 결정할 것이다.



박재용 작가

과학과 일상의 연결, 과학과 사회, 과학과 미래 환경에 관해 책을 쓰고 말하는 과학 저술가이자 커뮤니케이터다. EBS 다큐프라임 <생명, 40억 년의 비밀> 시리즈의 '멸종', '짜짓기', '경계' 등을 집필했다.

우리가 일상에서 무심코 경험하는 현상들 뒤에는 신기한 과학 원리가 숨어 있습니다. 똑소리단 여러분이 보내주신 질문 속 흥미로운 과학의 세계로 여러분을 초대합니다.

글 과학 커뮤니케이터 이종원 교수

과학은 즐겁게, 세상은 새롭게

똑소리 나는 일상 속 과학 이야기

1로 읽어들어 데이터를 끄집어내는데, 진짜 비밀은 따로 있습니다. QR코드에는 원래 정보 뒤에 ‘리드-솔로몬 부호’라는 수학적 백업 점들이 한 묶음 더 끼워져 있습니다. 1960년 미국에서 처음 만들어진 이 흥미로운 기술은 지금도 흠집 난 CD가 음악을 끝까지 재생되게 해주고, 화성 탐사선이 보낸 사진이 깨지지 않고 지구에 도착하게 해주는 바로 그 알고리즘입니다. 원리를 비유하자면 ‘사과 다섯 개’라는 문장을 보낼 때 ‘빨간 사과 다섯 개, 그러니까 손가락 수의 과일’이라고 일부러 장황하게 말해주는 식인데, 듣는 사람이 중간 단어를 흘려도 앞뒤 단서로 메시지를 복원할 수 있습니다. 백업이 많이 되어 있는 경우 코드 면적의 약 30%가 망가져도 복원되고, 결제 QR 한가운데 회사 로고가 딱하니 박혀 있어도 멀쩡히 인식되는 비결이 바로

여기에 있습니다. 결국 우리가 보는 그 어수선한 점박이 무늬는 데이터와 백업과 위장막이 한꺼번에 겹쳐 그려진 매우 잘 계획된 그림인 셈입니다.

Q. 교통카드의 태그는 어떻게 작동되나요?

교통카드의 진짜 신기한 점은 건전지가 없다는 사실입니다. 분명 카드 안에 작은 칩이 들어 있고 계산까지 척척 해내는데, 어떻게 전원도 없이 돌아갈까요. 비밀은 단말기 쪽에 있습니다. 단말기는 가만히 있는 것 같아도 사실은 13.56MHz라는 정해진 주파수의 전파를 끊임없이 뿜어내고 있습니다. 카드 안에는 머리카락보다 얇은 구리선이 동그랴게 코일처럼 감겨 있습니다. 카드가 단말기 가까이 들어가는 순간 이 코일이 전파의 자기장 안에 놓이고, 그러면 코일 안에

Q. QR코드는 점들이 마구잡이로 찍혀 있는데 어떻게 정보를 읽을 수 있을까?

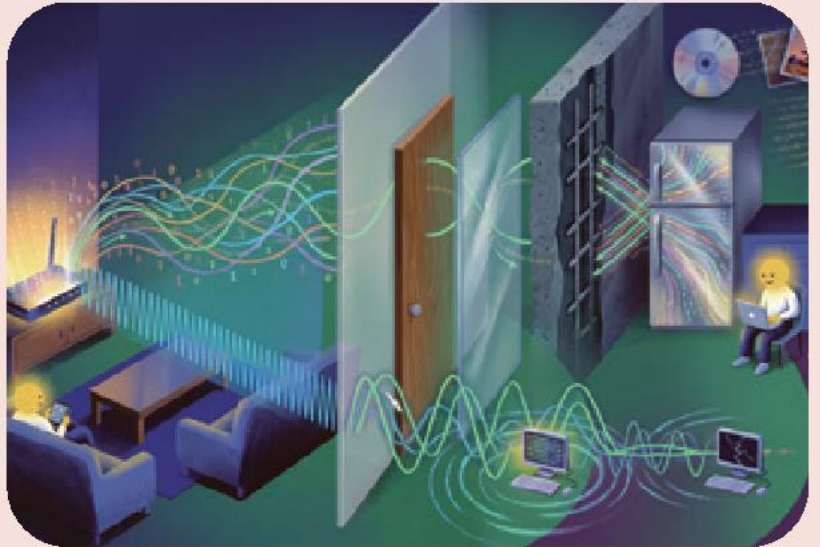
QR코드를 처음 보면 정말 모래알을 흩뿌려놓은 것처럼 보입니다. 그런데 자세히 보면 세 모서리에 큼지막한 정사각형 무늬가 박혀 있는데, 이게 카메라에게 “여기가 QR코드구나. 이렇게 기울어져 있구나” 하고 한눈에 알려주는 일종의 등대 같은 표지판입니다. 1994년 일본의 자동차 부품 회사 덴소웨이브가 부품 추적을 좀 더 빨리하려고 개발한 이 표지판 시스템 덕분에 스마트폰은 QR코드가 거꾸로 놓여 있던 옆으로 누워 있던 1초도 안 돼 정확한 방향을 잡아냅니다. 표지판으로 자세를 잡은 카메라는 나머지 검은 점과 흰 점들을 0과



저절로 전기가 만들어집니다. 1831년 영국의 마이클 패러데이^{Michael Faraday}가 발견한 전자기 유도 현상입니다. 우리가 흔히 쓰는 무선 충전 패드 위에 휴대폰을 올려놓으면 케이블 없이 충전되는 것과 정확히 같은 원리입니다. 단지 무선 충전기는 자기장의 사정거리가 패드 위 1~2cm에 불과하고, 교통카드 역시 단말기에 바짝 갖다 대야 ‘빕’ 소리가 나는 이유도 자기장이 닿는 범위가 보통 몇 센티미터를 넘지 못하기 때문입니다. 깨어난 칩은 단말기와 같은 주파수의 전파에 데이터를 실어 보내며 “잔액 얼마예요. 요금 빠고 이만큼 남았어요” 하고 짧은 대화를 주고받습니다. 1996년에 처음 나온 교통카드는 단말기가 시키는 대로 숫자를 받아 적기만 하는 단순한 메모장이었지만, 요즘 카드는 손톱만한 컴퓨터^{CPU}가 안에 들어 있어 스스로 계산하고 자기 잔액이 맞는지 검사까지 한 뒤 결과를 단말기에 회신합니다. 그래서 지갑째 두 장의 교통카드를 같이 대면 두 카드가 동시에 응답하다 신호가 엉키면서 양쪽 다 인식되지 않는 현상이 벌어지는 것입니다.

Q. 와이파이의 벽을 통과하는데, 왜 방에 따라 신호 세기가 달라질까?

와이파이 신호는 사실 빛의 친척입니다. 우리 눈에 보이지 않는 전파라는 옷을 입고 있을 뿐, 빛과 똑같이 전자기파라는 한 가족에 속해 있어서 무언가에 닿으면 일부는 통과하고, 일부는 흡수되고, 일부는 반사됩니다. 그러니까 ‘벽을 통과한다’기보다는 ‘벽을 만나면 일부만 살아남는다’가 더 정확한 표현입니다.



살아남는 비율은 벽이 무엇으로 만들어졌느냐에 따라 크게 달라집니다. 석고보드나 나무, 유리는 비교적 너그럽게 통과시켜주지만 콘크리트나 벽돌, 특히 철근이 박힌 콘크리트 벽은 신호를 사정없이 깎아 먹어 한 장만 지나도 신호의 90% 가까이 사라지기도 합니다. 금속은 거의 거울처럼 신호를 튕겨내 버려서, 방문 바로 옆에 큰 냉장고가 있으면 그쪽 방의 와이파이도 유독 약한 경우가 많습니다. 그런데 더 흥미로운 현상은 따로 있습니다. 한 번 쓴 와이파이 신호는 곧장 우리 노트북으로 오는 게 아니라 벽과 천장, 가구에 부딪혀 여러 갈래로 갈라진 뒤 시간차를 두고 도착합니다. 잔잔한 호수에 돌 하나를 던지면 동심원이 깔끔하게 퍼져나가지만, 좁은 욕조 안에 돌을 던지면 벽에 반사된 물결이 처음 물결과 만나 어떤 곳은 더 크게 출렁이고 어떤 곳은 잠잠해지는데, 와이파이 신호도 똑같이 행동합니다. 운이 나쁘게 반사파끼리 박자가 거꾸로 만나는 자리에서는 신호가 서로 상쇄되어, 공유기가 코앞에 있어도 인터넷이 뚝뚝 끊기는 묘한 사각지대가

생깁니다. 같은 책상에서 노트북을 한 뼘만 옮겼는데 갑자기 인터넷이 빨라지는 경험도 바로 이 상쇄 구역을 벗어났을 때 일어나는 현상입니다. 한 가지 더, 우리가 쓰는 와이파이에는 보통 2.4GHz와 5GHz 두 종류의 주파수가 섞여 있습니다. 2.4GHz는 파장이 길어 멀리 잘 가고 벽도 그럭저럭 뚫는 대신 도로의 화물 트럭처럼 느리고, 5GHz는 스포츠카처럼 빠르지만 파장이 짧아 벽 한 장에도 힘겨워합니다. 거실에서는 잘 되던 인터넷이 방에 들어가는 순간 답답해지는 건, 빠른 쪽 주파수가 벽에 부딪히면서 느린 쪽으로 자동으로 갈아타거나 신호가 한계까지 줄어들었기 때문입니다.



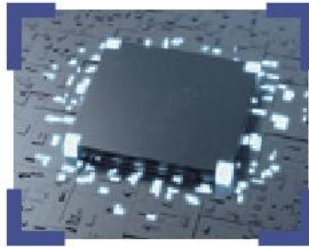
과학 커뮤니케이터 이종원 교수

계명대학교 건축학과 교수로 재직 중이며, 건축 및 도시를 전공한 연구자이자 과학 커뮤니케이터로도 활동하고 있다. 공공기관 및 정부 출연 연구원 등 다양한 분야에서의 특별한 경험을 바탕으로, 과학과 건축 이야기를 쉽고 재미있게 대중에게 전달한다. 현재 방송, 강연, 기고 등을 통해 과학 지식 대중화에 기여하고 있다.

R&D 사전

#전력 반도체 Power Semiconductor

전력 반도체는 전자기기에 들어오는 전력을 시스템에 맞게 변환·제어·분배하는 역할을 하는 반도체다. 사람의 몸으로 치면 근육과 심장에 피를 공급하고 조절하는 혈관 및 순환계와 같은 역할을 한다.



과거에는 주로 가전제품의 전원공급장치에 사용되었으나, 전기차^{EV}와 인공지능^{AI} 데이터센터, 재생에너지 등 대규모 전력을 고효율로 처리해야 하는 산업이 급성장하면서 그 중요성이 커지고 있다.

적용 사례

#경북도, AI·시스템 반도체 생태계 조성... 12개 과제 착수

5월 20일 경북도는 글로벌 AI 및 시스템 반도체 패권 경쟁에 대응하기 위해 '원스톱 반도체산업 생태계' 조성에 나선다고 밝혔다. 그중 전력 반도체 분야에서는 포항을 거점으로 8인치 SiC(탄화규소) 웨이퍼 기반의 차세대 전력 반도체 및 배터리 관리시스템 통합 플랫폼을 구축해 미래 산업구조 재편에 앞장설 계획이다.



#인피니언, 유럽 전력 반도체 통합 시스템 구축 'Moore4Power' 총괄

독일 반도체 기업 인피니언은 유럽연합^{EU} 15개국 62개 산학연이 참여하는 9100만 유로 규모의 대형 전력전자 연구개발 프로젝트의 주관사로 나선다고 밝혔다. 이 프로젝트는 기존 개별 칩 중심의 한계를 극복하기 위해 서로 다른 소재^{Si, SiC, GaN}를 하나로 묶는 '이종 통합'과 '전력 칩렛^{Chiplet}' 아키텍처를 도입하는 것이 핵심이다.



#정부, 차세대 전력 반도체 국산화에 5000억 원 투입

정부가 90% 이상 수입에 의존하는 전력 반도체의 기술 자립을 위해 국비 5000억 원을 투입한다. 2026년 인프라 구축 준비를 시작으로 2027년에는 1.2kV급 'SiC MOSFET^{MOSFET}' 등 핵심 소자 양산에 돌입한다는 구체적인 타임라인을 설정했다.



유사 개념

#전력 관리 반도체 PMIC Power Management IC

스마트폰·PC 등 전자기기 내에서 각 부품이 필요로 하는 전력을 정확하게 배분하고 제어하는 시스템 반도체다. 전력 반도체의 일종으로, 배터리 수명을 늘리고 효율을 극대화한다.

#인버터 Inverter

배터리에 저장된 직류^{DC} 전력을 모터 등을 구동하기 위한 교류^{AC} 전력으로 변환하는 장치다. 전기차의 심장부로 불리며, 인버터 내부에 다수의 고성능 전력 반도체가 탑재돼 스위칭 작용을 한다.

#시스템 반도체 System Semiconductor

메모리 반도체와 달리, 연산·제어·논리 작업 등 정보처리를 목적으로 하는 반도체다. CPU·AP 등이 대표적이며, 전력 반도체 역시 넓은 의미에서 시스템 반도체(비메모리)의 한 종류로 분류된다.

심화 개념

#실리콘카바이드 SiC, Silicon Carbide

규소^{Si}와 탄소^C가 결합한 화합물 소재다. 기존 실리콘^{Si} 대비 10배 높은 고전압과 십씨 수백 도의 고온 환경에서도 안정적으로 작동해, 전기차와 산업용 전력 반도체의 핵심 소재로 쓰인다.

#질화갈륨 GaN, Gallium Nitride

갈륨^{Ga}과 질소^N의 화합물로, 신호처리 및 스위칭 속도가 매우 빨라 전력 변환 시 발생하는 에너지 손실을 최소화할 수 있다. 주로 소형 고속충전기, 5G 통신기기, 라이다^{LIDAR} 센서 등에 활용된다.

#와이드 밴드갭 WBG, Wide Band-Gap

전자가 전기가 통하지 않는 상태(가전도대)에서 전기가 통하는 상태(전도대)로 넘어가기 위해 필요한 에너지 장벽(밴드갭)이 기존 실리콘보다 넓은 물리적 성질을 말한다.

첨단산업 경쟁 본격화, 글로벌 기술·공급망·투자전략 강화

국내1

한국-캐나다, AI·양자 중심 첨단기술 협력 확대



KEIT-PROMPT 글로벌 공동 R&D 본격화

산업통상부와 한국산업기술기획평가원^{KEIT}이 캐나다와의 첨단기술 협력을 확대하고 있다. 5월 6일 KEIT는 캐나다 퀘벡주의 산업기술 연구 지원기관 프롬프트^{PROMPT}와 업무협약^{MOU}을 체결하고, AI·양자컴퓨팅·차세대 통신 분야 공동 연구개발 협력을 강화하기로 했다. 이번 협약은 캐나다 오타와에서 진행됐으며, 양측은 공동 R&D 과제 발굴과 기술 기획, 평가 협력, 산학연 네트워크 구축 등을 추진할 계획이다. 특히 퀘벡은 세계적인 AI·양자 기술 클러스터로 꼽히는 지역으로, 한국은 이번 협력을 통해 글로벌 첨단기술 협력 기반을 확대해나간다는 방침이다. 최근 AI와 양자 기술을 중심으로 글로벌 공동연구 필요성이 커지고 있다는 점에서 이번 협력의 의미가 주목된다.

산업 협력의 핵심은 단순 기술 교류를 넘어 실제 산업



한국산업기술기획평가원은 5월 6일(현지 시간) 캐나다 오타와에서 캐나다 퀘벡 주정부 산하 연구 지원기관 프롬프트와 업무협약을 체결했다. 왼쪽부터 도미니크 세인트-루이 프롬프트 총괄본부장, 김정관 산업통상부장, 서용원 산기평 원장직무대행.

현장에서 활용 가능한 공동 과제를 발굴하는 데 있다. 양자 기술은 복잡한 물류·생산 공정의 최적 경로를 찾는 조합 최적화, 신소재 개발을 위한 분자·물성 시뮬레이션 등 기존 컴퓨팅 방식으로 해결하기 어려웠던 산업 문제를 해결할 수 있는 기술로 주목받고 있다. AI 역시 제조·에너지·바이오 등 다양한 산업 분야에서 생산성과 효율을 높이는 핵심 기술로 자리 잡고 있다. 특히 캐나다는 몬트리올과 퀘벡을 중심으로 AI·양자 연구 생태계를 구축하고 있어, 한국 기업과 연구기관의 글로벌 기술협력 거점으로 평가받고 있다.

조선·방산에서 AI·양자까지... 한-캐나다 전방위 협력

이러한 실무 차원의 첨단기술 협력은 이번 ‘한-캐 산업·자원 협력 확대’의 일환으로 전개되었다. 김정관 산업통상부 장관은 5월 5일부터 6일까지 캐나다 오타와를 방문해 캐나다 산업부 및 에너지·천연자원부 장관 등 고위 인사들과 연세 회동을 가졌다. 이 자리에서 캐나다 잠수함 사업 수주 지원과 수소 및 핵심 광물 공급망 다변화 등 굵직한 국가적 경제 안보 과제들을 논의했다. 5월 6일에는 프롬프트와의 업무협약과 더불어 한-캐 쇄빙선 국제 공동 연구개발 업무협약도 성사되면서, 양국의 협력 움직임은 조선과 R&D, 방산을 아우르는 거대한 패키지 형태로 그 외연을 확장했다.

정부는 이렇듯 산업 전반에 걸쳐 다져진 포괄적 협력 기반을 바탕으로, 산업별 세부 수요 발굴과 국제 공동 R&D를 지속 확대할 계획이다. 경제·안보적 협력 기반 위에서 차세대 산업 인프라를 다져나가는 양국의 움직임이 향후 글로벌 첨단기술 생태계에 어떤 성과를 낼지 귀추가 주목된다.

산업성장펀드 출범, 혁신기업 성장·산업 생태계 강화 지원



산업통상부가 혁신기업 성장과 산업 생태계 강화를 위한 대규모 산업금융 지원에 나선다. 산업부는 5월 18일 서울 여의도에서 ‘산업성장펀드 출범식 및 산업금융 전략회의’를 열고 제3기 산업성장펀드 출범과 함께 산업 R&D 혁신기업 우대 패키지 금융 프로그램 마련을 위한 업무협약을 체결했다. 이번 산업성장펀드는 기존 산업기술혁신펀드를 확대·개편한 것으로, 기술혁신과 신기술 기반 시장 진출을 추진하는 중소·중견기업 지원을 목표로 한다. 특히 하나은행과 IBK기업은행이 총 1조 1150억 원 규모의 출자를 결정하면서 대규모 펀드가 조성됐다. 산업부는 단순한 연구개발 지원을 넘어 산업정책과 연계된 산업금융 플랫폼 역할을 강화하겠다는 방침이다. 정부는 향후 민간투자자와 정책금융을 연계해 산업 경쟁력 강화와 미래 성장동력 확보를 동시에 추진할 계획이다.

AI 및 미래 제조 중심 산업 대전환 투자 확대

산업성장펀드는 제조업 AI 전환^{MAX}, 지역 균형발전, 신성장동력 발굴 등을 핵심 투자 방향으로 설정했다. 특히 1호 자펀드인 ‘M.AX 산업 대전환 혁신 펀드’는 휴머노이드, AI 팩토리, 미래 모빌리티, 자율운항선박 등 제조업과 AI 융합 분야 기업에 투자할 계획이다. 정부는 1000억 원 규모의 앵커 출자를 기반으로 민간자금을 연계해 최대 5000억 원 규모까지 확대

조성한다는 목표를 세웠다. 이와 함께 지역산업 활력 펀드, 업종별 생태계 펀드 등을 순차적으로 조성해 산업 생태계 전반의 경쟁력을 강화할 예정이다. 특히 제조업 중심의 국내 산업구조가 AI와 디지털 전환 흐름 속에서 빠르게 변화하는 만큼, 산업 현장에 적용 가능한 기술 기업에 대한 투자 확대가 중요한 과제로 떠오르고 있다. 산업부는 첨단 제조-에너지-모빌리티 등 미래 전략산업 중심으로 민간투자 생태계를 활성화하겠다는 구상이다.

정부는 펀드 조성과 함께 산업부 R&D 우수 수행 기업을 대상으로 한 우대금융 프로그램도 추진한다. 하나은행과 IBK기업은행은 기술보증기금과 무역보험공사에 총 470억 원을 출연하고, 이를 기반으로 약 7000억 원 규모의 기술보증·무역보증 및 저리 대출을 지원할 계획이다. 지원 대상은 산업부 R&D 과제를 우수하게 완료하고 사업화 가능성이 높은 중소·중견기업이다. 기업들은 프로젝트 단위 사업화 보증과 수출 및 해외 진출용 무역금융 등을 활용할 수 있게 된다. 산업부는 이번 산업성장펀드를 통해 기술 개발 단계에 머물렀던 산업금융을 사업화 및 시장 확대까지 연결하는 금융지원 체계로 발전시킨다는 구상이다. 정부는 앞으로도 기술 개발과 금융, 수출 지원을 연계한 지원체계를 강화해 혁신기업의 성장 기반을 확대해나갈 계획이다.



5월 18일 김경관 산업통상부 장관은 서울 여의도에서 열린 ‘산업성장펀드 출범식 및 산업금융 전략회의’를 주재하고, 유관 기관 간 업무협약을 체결했다.

공급망 재편 가속으로 미중·중러 전략 경쟁 본격화



5월 14~15일 진행된 미중 정상회담에서는 무역 갈등 장기화에 따른 경제적 압박을 피하고 경쟁 구도를 예측 가능한 방향으로 설정하기 위한 양국의 전격적인 실리 타협이 이뤄졌다. 미 백악관은 중국으로부터 이트륨·스칸듐·네오디뮴·인듐 등 첨단산업의 필수 재료인 희토류 및 핵심 광물 공급망 부족 문제를 해결하겠다는 약속을 받아냈다고 발표하며 자원 안보 성과를 전면에 내세웠다. 동시에 보잉 항공기 200대 승인, 연간 최소 170억 달러 규모의 미국산 농산물 구매 등 대규모 무역 재균형 패키지를 합의 사항으로 공개했다. 중국 상무부 역시 상호 관세 인하를 통한 농산물 교역 확대를 언급했다.

핵심 광물·에너지 중심 공급망 재편 확대

미국은 중국 의존도를 낮추기 위해 동맹국 중심 공급망 재편에도 속도를 내고 있다. 최근 미국·일본·호주·인도로 구성된 쿼드^{Quad}는 핵심 광물 공급망 협력을 확대하고, 광물 채굴·정제·재활용 분야의 협력을 강화하기로 했다. 희토류·리튬·코발트·흑연 등은 AI·전기차·반도체산업의 핵심 소재로 꼽히는 만큼, 안정적인 공급망 확보 경쟁이 각국 산업정책의 핵심 과제로 떠오르고 있다. 미국은

공급망 다변화와 자국 중심 제조업 강화 전략을 동시에 추진하며 우방국 중심 공급망 구축에 힘을 쓰는 모습이다. 글로벌 공급망 역시 과거의 효율 중심 구조에서 벗어나 안보와 산업 경쟁력을 고려한 방향으로 재편되고 있다는 분석이 나온다.

한편 중국과 러시아는 에너지 공급과 기술협력을 강화하며 협력 범위를 확대하고 있다. 5월 20일 진행된 양국 정상회담에서는 석유·가스·무역 분야를 포함한 협력 문서가 체결됐으며, 에너지 공급 확대와 기술협력 방안 등이 논의된 것으로 전해졌다. 특히 미국·이스라엘-이란 전쟁으로 중동발 지정학적 위기가 고조되는 상황에서 양국은 40여 건의 협력 각서를 체결하고 중단 없는 석유·가스 수급을 약속하는 등 에너지 공급망 자립을 위한 굳건한 버팀목 역할을 재확인했다.

글로벌 공급망 불안과 지정학적 갈등이 장기화되면서 에너지·광물·첨단기술을 둘러싼 국가 간 전략 경쟁은 더욱 심화되는 분위기다. 산업계 역시 공급망 다변화와 핵심 자원 확보 전략 마련이 중요한 과제로 떠오르고 있으며, 향후 글로벌 산업 질서 역시 기술과 자원을 중심으로 변화가 이어질 것이라는 전망이다.



도널드 트럼프 미국 대통령과 시진핑 중국 국가주석이 베이징 중난하이에서 차담을 나누고 있다.



그린테크, 아이들의 눈높이와 기업의 최전선에 서다

GS칼텍스는 미래 세대를 위한 탄소 저감 교육 프로그램인 ‘꾸스^{CCU-S}’ 캠페인을 전개한다. 탄소 저감 미래 기술을 직관적으로 이해할 수 있도록 설계한 교육용 크리에이티브 교구 ‘CCUS KIT’도 선보인다.

GS칼텍스 꾸스 캠페인의 핵심인 CCUS KIT는 대중에게 다소 낯설고 어려운 탄소 저감 사업인 탄소 포집·활용·저장^{CCUS} 기술을 아이들의 눈높이에 맞춰 재해석한 교구다.

탄소중립의 열쇠, CCUS 기술을 아이들의 시선으로

전 세계적으로 탄소중립 달성이 산업적 과제로 부상한 가운데, 에너지 기업들의 행보가 단순한 기술 개발을 넘어 사회적 수용성을 높이는 커뮤니케이션으로 확장되고 있다.

탄소 포집·활용·저장^{CCUS} 기술은 대기 중이나 산업공정에서 배출된 이산화탄소를 직접 포집해 유용한 자원으로 바꾸거나 지하에 안전하게 격리하는 기술이다. 국제에너지기구^{IEA}가

글 구현화 한경 <ESG> 기자

탄소중립을 위한 ‘핵심 감축 수단’으로
 꿈을 만큼 중요도가 높지만, 대중에게는
 용어조차 낯설고 어려운 장벽이
 존재해왔다.

GS칼텍스의 꾸스 캠페인은 이러한
 심리적 문턱을 낮추기 위해 기획됐다.
 핵심 교구인 CCUS KIT는 아이들에게
 친숙하고 유쾌한 소재인 방귀를 대기 중
 탄소로 비유해 가스를 포집하고, 이를
 자양분 삼아 식물을 키워내는 과정을
 놀이처럼 구현했다. 이를 통해 탄소를
 모아 유용한 원료로 재활용하거나
 안전하게 저장하는 순환 경제 원리를
 자연스럽게 체득할 수 있다.

크리에이티브 교구로 친숙함 높여
 GS칼텍스는 공식 블로그인 미디어허브
 내 캠페인 페이지 신청자 중 추첨을
 거쳐 CCUS KIT를 배포, 크리에이티브
 키트를 직접 체험하도록 지원한다. 과학
 크리에이터 ‘퀘도’와도 협업해 CCUS의
 과학적 원리를 위트 있게 풀어낸 영상을
 공개했다.

GS칼텍스는 지역사회와 호흡하는 현장
 중심의 커뮤니케이션도 병행한다. 3월
 18~19일 전남 여수시 소재 초등학교에서
 여수시여수산업공동발전협의회와 함께
 교육 프로그램을 진행했다.

기술 수용성을 넘어 국가적 자산으로
 이번 프로그램은 미래 세대에게 첨단
 환경 기술을 쉽고 재미있는 방식으로
 소개해 저탄소 신사업에 대한 심리적
 문턱을 낮추고 미래 세대의 수용성을
 확산하는 데 기여할 것으로 기대된다.

GS칼텍스 관계자는 “저탄소 신사업을
 지속적으로 확대해가는 동시에 새로운
 방식의 창의적 소통으로 사회적 가치를
 창출할 것”이라고 말했다.



방귀라는 유쾌한 소재를 활용해 탄소 포집·활용·저장^{CCUS} 기술을 직관적으로 이해할 수 있도록 설계한 GS칼텍스의 교육용 교구 ‘CCUS KIT’.



화제의 ESG 제품

한국엡손,

블루투스·PC 연결형 라벨 프린터 출시

한국엡손이 비즈니스와 산업 현장의 라벨 작업 효율을 높인 블루투스·PC 연결형 라벨 프린터 'LW-Z730'을 출시했다. 이 제품은 사무실은 물론 전기·산업·의료 등 정밀성과 반복 작업이 중요한 현장을 겨냥했다. USB 케이블과 블루투스를 통해 PC와 모바일 기기를 모두 지원한다. 전용 라벨 편집 소프트웨어 '라벨 에디터^{Label Editor}'를 활용하면 다양한 형태의 라벨을 제작할 수 있다. 모바일 앱과도 연동돼 현장에서도 간편하게 출력할 수 있다. 엑셀 데이터 연동과 QR코드·바코드 생성 기능도 지원한다. 특히 저전력 블루투스^{BLE} 지원으로 배터리 효율과 연결 안정성을 높였으며, 외관의 약 50%를 재활용 플라스틱 소재로 제작해 친환경 경영 가치를 반영했다.





현대L&C, 인테리어 필름 '보닥' 54종 출시

현대백화점그룹 계열 종합 건자재 기업 현대L&C가 인테리어 필름 '보닥'의 신제품 54종을 출시했다. 현대L&C의 보닥은 뒷면에 특수 점착제를 적용한 인테리어 필름으로, 벽은 물론 물당·도어·가구 등 다양한 실내 표면에 간편하게 시공할 수 있는 마감재다. 단색·우드·스톤·메탈 등 총 470여 개 디자인 가운데 선택할 수 있다. 필름 형태이기 때문에 간단한 시공만으로 공간 분위기를 바꿀 수 있다. 우드 컬렉션은 이번 신제품 중 가장 강화된 영역이다. 프리미엄과 보급형을 함께 보강하며 총 26종의 신제품을 출시했다. 프리미엄 라인인 룽우드와 오리진우드도 각각 6종씩 출시했다. 또한 현대L&C는 각종 친환경·안전 인증을 확보했다. 보닥은 한국소방산업기술원^{KFI}에서 주관하는 방염 성능검사를 통과한 방염 제품에만 인증마크를 표기한다.

서울우유, 제품에 친환경 멀균팩 도입

서울우유는 국내 최초로 알루미늄을 제거한 친환경 멀균팩을 도입하는 등 친환경 행보를 이어가고 있다. 기존 종이·폴리머·알루미늄 3종 구조에서 알루미늄층을 제거한 것으로, 일반 멀균팩 대비 최대 10배 높은 재활용률이 기대된다. 해당 패키지는 '유기농멀균우유(200ml)'에 적용됐으며, 향후 적용 범위를 확대할 계획이다. 플라스틱 사용 저감과 자원순환 활동도 병행하고 있다. '유기농우유(700ml)'에 재생 원료^{r-PET} 병을 적용하고, 떠먹는 요구르트 '요하임'에는 무라벨 패키지를 도입했다. 이외에도 종이 스트로 사용, 캡 스티커 제거, 수분리 라벨 적용 등 친환경 포장재 전환을 확대하며 포장재 전반의 구조 개선을 추진한다. 저탄소 인증 기반 생산 체계도 강화하고 있다. 서울우유는 농림축산식품부가 주관하는 저탄소 축산물 인증을 획득한 목장 107곳을 운영 중이다. 이를 기반으로 한 '저탄소인증우유(900ml)'는 판매 증가세다.



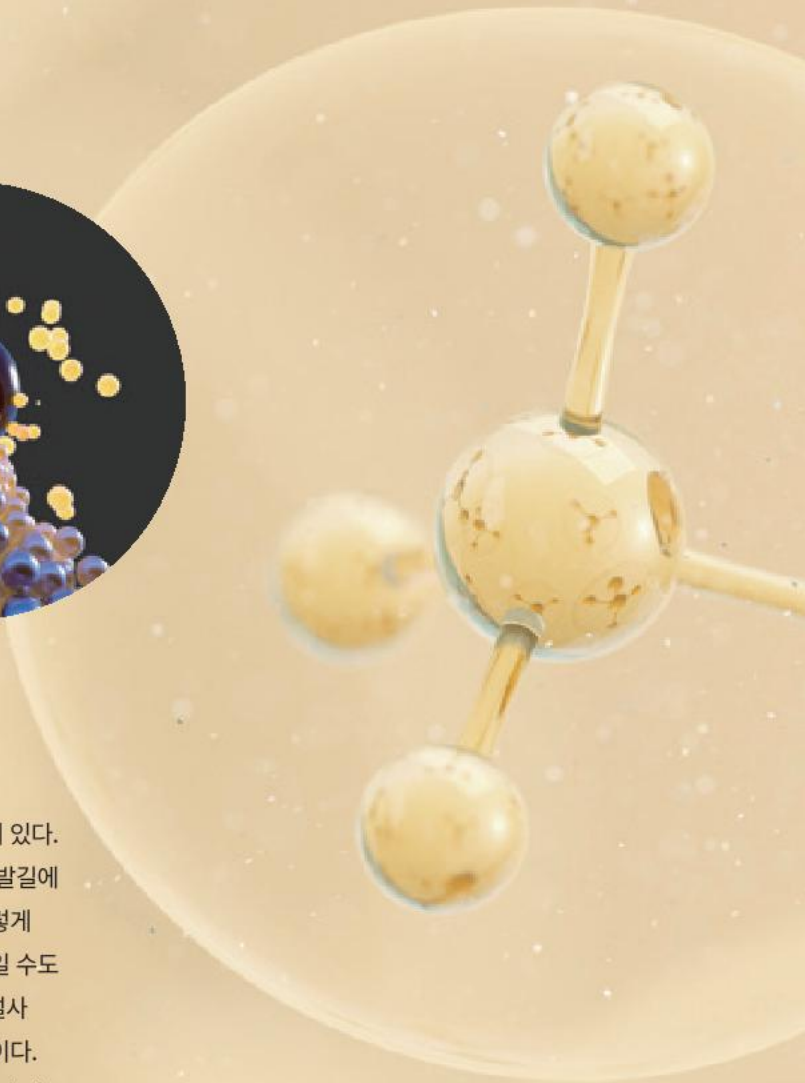
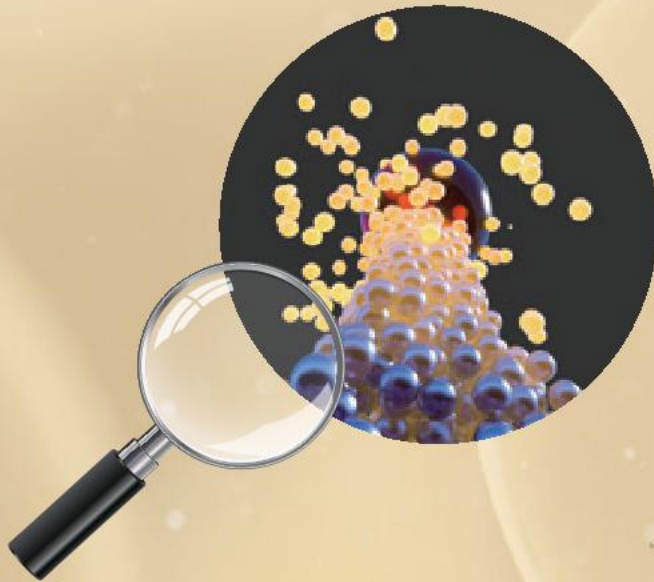
라벨 제거



생명활동의 보이지 않는 지휘자, 효소를 읽다

우리 몸속 무수한 화학반응을 유기적으로 연결하는 숨은 조력자가 있다. 바로 체내 대사 과정을 지휘하는 스페셜리스트, ‘효소^{Enzyme}’다. 너무 익숙해서 미처 깊이 생각해보지 못했던 효소의 경이로운 세계와 그 가치를 쉽게 풀어낸 세 권의 안내서를 찬찬히 살펴본다.

글 하리하라 과학저술가



“구슬이 서 말이라도 꿰어야 보배”라는 말이 있다. 구슬을 바닥에 뿌려두면 바람이 부는 대로, 발길에 차이는 대로 이리저리 굴러다닐 것이다. 그렇게 구르고 구르다 보면 어쩌면 한곳에 모두 모일 수도 있을 터다. 하지만 그 확률은 매우 낮으며, 실사 일어난다고 해도 매우 오랜 시간이 걸릴 것이다. 실이 결정적인 건 이 때문이다. 실 자체는 구슬에 비해서는 볼품없고 겉으로 드러나지는 않지만, 가느다란 실 한 오라기가 구슬을 엮어 이들이 흩어지지 않고 한데 모이는, 자연적으로는 매우 드문 상황을 아주 수월하게 만들어낼 수 있다. 바로 효소처럼 말이다.

화학반응에 생명을 불어넣는 생체 촉매

효소 酵素, Enzyme란 주로 단백질로 이루어진 물질로, 생체 내에서 일어나는 다양한 화학반응에 관여해 그 반응 속도를 극적으로 빠르게 만들어주는 효율적인

촉매를 통칭하는 말이다. 음식물의 소화, 세포 내 물질대사, DNA 복제, 에너지 생산, 해독, 면역반응뿐 아니라 체내에서 일어나는 모든 화학작용, 다시 말해 분자를 분해하거나 결합하거나, 일부 원소를 붙이거나 떼어내거나 다시 재조립하는 모든 과정에 효소가 관여한다.

만약 효소가 기능하지 않는다면 생체 내부에서 일어나는 모든 생명 활동의 속도는 극히 느려질 것이고, 결국 기능이 정지될 것이다. 우리가 먹은 고기는 소화기관을 통과하면서 펩신 등의 단백질 소화효소에 의해 단 몇 시간 만에 아미노산으로 분해돼 체내로 흡수된다. 단백질 소화효소는 각각의 아미노산을 단단히 묶고 있는 펩타이드 결합을 끊어내 단백질 소화를 돕는다. 단백질 소화효소 없이 펩타이드 결합이 저절로 끊어지는 것 자체가 이론적으로 불가능한 일은 아니다. 다만 자연적으로 펩타이드 결합이 깨지기까지는 수십에서 수백 년이 걸리기에 생존에는 쓸모가 없다. 수백 년 걸릴 것을 단 몇 시간 만에 처리할 만큼 단백질 소화효소의 능력은 걸출하지만, 이들이 분해할 수 있는 건 오직 단백질뿐이다. 지방이나 탄수화물의 소화 및 대사에는 관여하지 못한다는 것이다. 이처럼 효소는 매우 뛰어난 능력자지만, 자신의 일밖에 할 수 없는 극단적 스페셜리스트이기도 하다.

체내에서 효소가 관여하는 과정은 셀 수 없이 많으며, 각각의 효소마다 기질 특이성이 있어 특정한 분자를 정해진 방식으로만 다루기 때문에 체내에 존재하는 효소 수는 수천 종에 이른다. 신체가 건강을 유지하기 위해서는 각각의 효소가 모두 존재해야 하며, 각각이 지나치거나 모자람 없이 균형을 유지해야 한다. 또한 효소는 생존에 필수적이기에, 생물은 자체적으로 유전자 속에 효소 제작 정보를 탑재하고 있다. 우리가 단백질을 먹으면, 이들은 아미노산으로 분해돼 흡수되고 효소로 재조립돼 우리 몸 구석구석에 재배치되는 것이다. 따라서 건강을 위한다면, 특정한 무언가를 골라 먹기보다 가급적 다양한 음식을 골고루 먹는 것이 좋다. 우리 몸을 유지하는 수많은 효소를 만드는 데 필요한 재료의 양과 종류가 모자라지 않도록 말이다.



<효소>

폴 앵겔 지음 / 최가영 옮김 / 김영사 펴냄

DNA가 레시피라면,

효소는 생명 활동을 완성하는 셰프

때로 가장 단순한 것이 가장 많은 것을 담기도 한다. 수십 년간 효소에 대해 연구한 생화학자 폴 앵겔^{Paul Engel}의 저서 <효소> 역시 마찬가지다. 우리는 DNA를 생명의 원천으로 인식하지만, DNA 자체는 생명 정보를 암호화해 저장할 뿐이다. 요리책에 모든 요리 비법이 들어 있다고 해서, 저절로 음식이 만들어지는 것은 아닌 것처럼 말이다. 요리책에 담긴 정보가 요리가 되려면, 식재료와 함께 이를 제대로 다룰 줄 아는 요리사의 솜씨가 필요하다. 생체 내에서 효소의 역할은 바로 이런 것이다. DNA라는 화학 분자 속에 담긴 암호를 살아 숨 쉬는 생명체로 바꾸는, 기적에 가까운 과정을 담당하는 존재 말이다.

#생명_활동의_주체

#생화학의_중심

<카툰 칼리지-생화학 I>

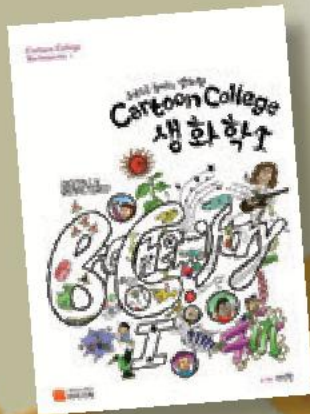
신인철 지음 / 마리기획 펴냄

유쾌하고 친절한 효소 안내서

앞서 말한 <효소>는 전문적인 내용을 다루는 책의 흔한 장점과 단점을 모두 가지고 있다. 내용 면에서는 매우 충실하지만, 읽기에 다소 딱딱하고 초보자에게는 어려울 수 있다는 것이다. 알고는 싶지만 너무 어려울 것 같아 망설여진다면, ‘만화 그리는 과학자’ 한양대학교 생물학과 신인철 교수의 카툰 칼리지 시리즈 중 <생화학 I>을 추천한다. 이 책은 효소만 다룬 것은 아니지만, 효소에 대한 내용을 매우 비중 있게 다루고, 만화로 그려져 있어 흥미와 이해를 더한다. 아무리 만화라도 어려울 것 같아 읽기가 망설여진다면? 그래도 괜찮다. 저자가 직접 자신의 유튜브 채널 ‘카툰과학대학’을 통해 해당 내용을 페이지별로 상세하게 강의하고 있으니 말이다.

#효소

#만화로 공부하기



<퀴네가 들려주는 효소 이야기>

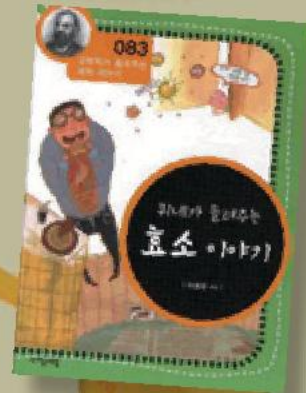
이홍우 지음 / 자음과모음 펴냄

‘효소의 아버지’ 퀴네가 안내하는 맞춤형 과외

그래도 효소가 뭔지 알쏭달쏭하다면? 과감하게 청소년 코너로 발길을 돌려보자. 오랫동안 논픽션 작가로 일하면서 얻은 노하우 중 하나는, 어떤 분야를 처음 시작할 때 ‘청소년을 위한~’이란 제목이 붙은 책을 고르면 대부분 실패하지 않는다는 것이다. 청소년이나 어린이를 대상으로 하는 책을 쓰는 것이 성인 대상 책보다 더 어렵다. 생소한 내용을 독자에게 ‘이해시켜야 하는 책임’이 성인을 위한 책보다 훨씬 더 크게 다가오기 때문이다. 그래서 잘 쓴 청소년용 책은 오히려 이해도 면에서 성인 책보다 훨씬 더 낫다. 이 책은 제목부터 ‘퀴네가 들려주는 효소 이야기’다. 체내^{En}에서 발효^{Zymē} 등의 화학반응을 담당하는 물질에 Enzyme이라는 이름을 붙여준 ‘효소의 아버지’가 바로 독일의 생리학자 빌헬름 퀴네^{Wilhelm Kühne}(1837~1900)이니, 그보다 더 잘 알려줄 이가 누가 있으랴.

#효소의_아버지

#퀴네



유튜브 찾아볼까?



세포생화학 2장 효소학 1부
카툰과학대학

▶ **만화로 그리는 생화학 강의 채널**

‘만화 그리는 과학자’로 유명한 한양대학교 생명과학과 신인철 교수가 운영하는 유튜브 채널이다. 복잡한 생화학 속 효소의 원리를 저자가 직접 그린 유쾌한 캐릭터와 만화 동영상으로 쉽고 흥미롭게 풀어낸다. 시각적 재미는 물론, 대학 강의 수준의 깊이 있는 효소학 이론을 친절하게 설명해 지식의 깊이를 더하기에 더할 나위 없이 좋다.

#효소학

#화학

#카툰



생명 유지에 꼭 필요한 효소?!
생명과학 교과서 속으로 11편! | 김응빈의 응생물학

▶ **미생물과 생명과학을 흥미롭게 풀어내는 지식 채널**

김응빈 교수가 직접 진행하는 신뢰도 높은 생물학 콘텐츠로, 이번 편에서는 생체촉매인 효소의 본질을 명쾌하게 짚어준다. 효소와 기질의 관계를 ‘열쇠와 자물쇠’에 비유해 기질 특이성 개념을 직관적으로 이해하도록 돕고, 체온과 pH 변화가 효소 활성에 미치는 영향까지 친절하게 해설하여 이해를 돕는다.

#기질_특이성

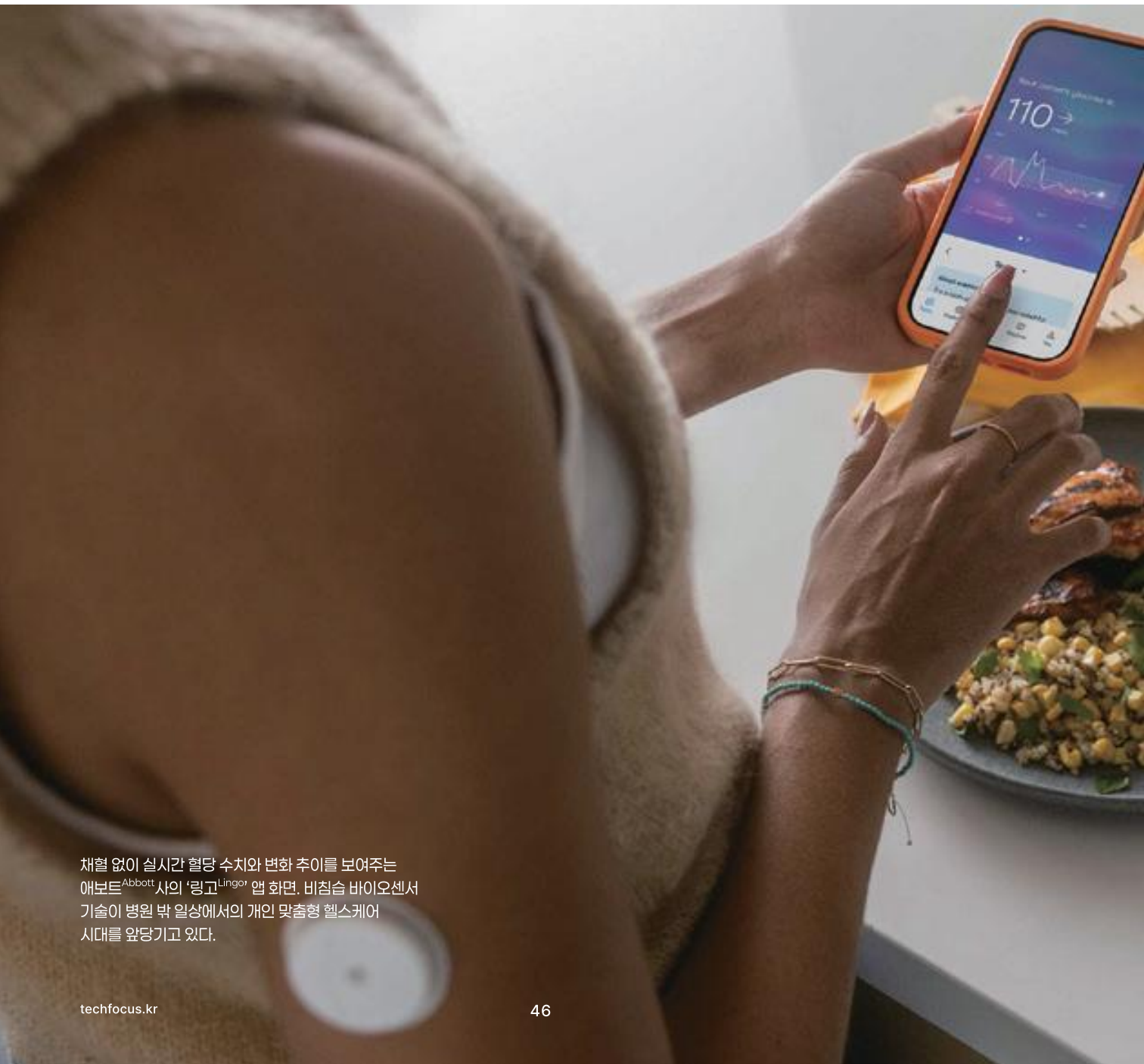
#에너지



주삿바늘의 통증 없이 패치 하나로 혈당을 확인하고, 눈물이나 땀 속에 숨겨진 내 몸의 비밀을 실시간 데이터로 읽어내는 시대가 왔습니다. 우리 몸의 미세한 생체 신호를 디지털 언어로 번역해주는 ‘비침습 바이오센서’ 덕분입니다. 단순한 측정을 넘어 전자기파와 나노 기술을 이용해 개인별 건강 지도를 그려내는 이 놀라운 공학 기술이 우리의 일상을 어떻게 바꾸고 있는지, 그 정교한 변환의 원리와 최신 흐름을 짚어봅니다.

글 김형자 과학 칼럼니스트

비침습 바이오센서, 내 몸의 시그널 읽어 건강을 모니터링하다



채혈 없이 실시간 혈당 수치와 변화 추이를 보여주는 애보트^{Abbott}사의 ‘링고^{Lingo}’ 앱 화면. 비침습 바이오센서 기술이 병원 밖 일상에서의 개인 맞춤형 헬스케어 시대를 앞당기고 있다.

생물학적 신호를 전기적 신호로 바꿔주는 통역사

건강검진을 받을 때 혈액검사를 빠뜨리지 않는 이유는 혈액이 바로 우리 몸의 ‘정보 창고’이기 때문입니다. 혈액은 우리 몸무게의 약 7~8%에 불과하지만, 몸속 아주 작은 부위에 염증만 생겨도 혈액 안에는 변화가 일어납니다. 아무리 국소적인 감염이라 할지라도 혈액 속 백혈구 수치나 성분에 영향을 미치기에, 혈액은 질병 진단의 가장 확실한 척도가 됩니다.



혈액의 중요성은 단순히 질병 유무를 확인하는 데 그치지 않습니다. 면역체계와 유전자, 그리고 혈액순환의 비밀까지 담고 있어 현대 의학에서는 혈액을 ‘또 하나의 장기’라 부르기도 합니다. 이 혈액으로 질병을 조기에 찾아내는 기술이 바로 바이오센서^{Biosensor}입니다. 바이오센서는 생체^{Bio}와 감지기^{Sensor}를 결합한 장치로, 우리 몸의 생물학적 신호(전기, 화학, 열 등)를 전자기기가 이해할 수 있는 전기적 신호로 바꿔주는 통역사 역할을 합니다.

최근의 바이오센서는 반도체 고집적 기술과 결합해 더욱 정교해졌습니다. 질병이 발생할 때 혈액 속에 나타나는 특정 물질(마커)을 수많은 나노센서로 포착한 뒤, 이를 통계적으로 분석해 질병 유무를 판단합니다. 특히 당뇨 환자들에게 바이오센서는 그야말로 ‘구원투수’와 같습니다. 매번 주삿바늘로 손가락을 찌르는 고통 대신, 피부에 가볍게 붙이는 패치만으로 24시간 실시간 혈당 모니터링이 가능해졌기 때문입니다.

바이오센서는 사용자에게 실시간 건강 정보를 제공합니다. 그래서 누구나 자신의 상태를 즉각 확인하고, 질병 예방 및 건강 증진을 위한 개인정보를 얻을 수 있습니다. 과거에는 병원에 가야만 얻을 수 있었던 자료들을 이제 병원 밖 일상에서도 측정할 수 있게 된 것입니다. 바이오센서가 개인 비서처럼 현재 활동량을 비롯해 체온, 심박수, 산소포화도, 심전도, 호흡수, 혈압, 혈류, 혈당, 뇌파, 안압, 복약 여부, 월경 주기에 이르기까지 방대한 건강 데이터를 꼼꼼히 측정해줍니다. 의료 전문가도 또한 원격으로 환자 상태를 실시간 점검할 수 있습니다.

바이오센서의 실시간 모니터링은 응급 상황에서 빛을 발합니다. 예를 들어 심장의 이상 징후나 혈당의 급격한 변화가 감지될 경우 즉시 경고를 발령해, 사용자가 골든타임 내에 적절한 조치를 취할 수 있도록 돕습니다. 이러한 즉각적인 대응은 종종 생명을 구하는 결정적인 요소가 됩니다. 실제로 실시간 모니터링은 사용자의 건강관리 행동을 30% 이상 개선한다는 연구 결과도 있습니다. 결국 바이오센서는 환자의 생명뿐 아니라 가족의 안녕까지 지키는 중요한 파수꾼 역할을 하는 셈입니다.

바이오센서 기술은 생물학·화학·물리학은 물론 전자공학까지 집약된 ‘바이오 융합공학의 결정체’라고 할 수 있습니다. 그 형태 또한 면역 센서, 광학 센서, 바이오칩 등으로 끊임없이 진화하며 우리 삶 깊숙이 자리 잡고 있습니다.

미세한 생체 신호 변환의 3단계 프로세스

우리 몸은 심장박동과 뇌파, 근육의 움직임부터 혈당 수치와 호르몬 농도에 이르기까지 24시간 내내 데이터를 생성합니다. 이러한 신호는 전기적(심전도, 뇌파, 근전도), 화학적(혈당, 호르몬, 단백질, 효소 농도), 물리적(압력, 온도), 광학적(혈중 산소포화도, 조직 투과도), 음향적(심장 소리, 폐 소리) 등 다양한 형태로 존재합니다. 하지만 문제는 이 신호들이 마이크로 단위 수준으로 매우 미세할 뿐만 아니라 그 양상 또한 복잡하다는 점입니다.

예를 들어 뇌에서 발생하는 전기신호는 마이크로볼트^{uV} 단위로 극히 작아서, 때로는 주변 가전제품에서 발생하는 노이즈(잡음)보다 약할 때가 많습니다. 이렇듯 포착하기 까다로운 미세 신호들을 바이오센서는 크게 3단계 과정을 거쳐 정확한 정보로 탈바꿈합니다.

1단계는 감지^{Reception} 과정입니다. 먼저 ‘바이오리셉터^{Bio-receptor}(생체 수용체)’가 특정 생체 물질이나 신호를 감지합니다. 혈액이나 땀, 눈물 등이 리셉터에 닿으면 센서 내부의 효소나 항체, DNA 등이 특정 성분하고만 선택적으로 반응합니다. 혈당 센서를 예로 들면, 포도당 산화효소가 혈액 속의 포도당하고만 결합하는 방식입니다.

2단계는 변환^{Transducing} 과정입니다. 생체반응이 일어나면 전자가 이동하거나, pH(산도)가 변하거나, 빛이 나는 등의 화학적·물리적 변화가 수반됩니다. 이때 반도체 소자가 미세 변화를 포착해 전기적 신호로 바꿉니다. 이 과정이 바로 ‘생체의 언어’를 ‘기계의 언어’로 번역하는 핵심적인 ‘변환’ 단계입니다.

3단계는 처리 및 분석^{Processing} 과정입니다. 변환된 전기신호를 증폭하고 불필요한 잡음을 제거합니다. 이러한 정제된 디지털 데이터는 스마트폰이나 컴퓨터로 전송돼 우리가 즉각 이해할 수 있는 수치로 나타납니다.

오늘날의 바이오센서 기술은 놀라울 만큼 정교합니다. 혈액 속에 단 ‘1조분의 1그램(1pg, 피코그램)’만 존재하는 특정 단백질까지 단 몇 초 만에 찾아낼 정도입니다. 과거 대형 병원의



바이오센서의 생체 신호 변환 3단계 프로세스. 미세한 생체 물질이 바이오인터페이스에 닿아 반응하면, 반도체 소자가 이를 정교한 디지털 전기 신호로 변환하여 사용자에게 실시간 맞춤형 데이터를 제공한다.



삼성전자 '갤럭시 링'. 반지 형태의 비침습 바이오센서로 수집된 생체 신호가 스마트폰 앱을 통해 실시간 데이터로 처리 및 시각화되는 모습.

정밀 검사실에서 몇 시간씩 걸리던 작업이 이제는 손바닥 안의 작은 기기에서 실시간으로 이뤄지고 있는 것입니다. 이렇게 내 몸의 보이지 않는 신호를 데이터로 시각화해 질병을 사전에 예방하고 관리하는 '개인 맞춤형 헬스케어' 시대를 앞당기고 있습니다. 아프기 전에 미리 알고 대비하는 삶, 바이오센서가 우리 일상 속에 깊숙이 파고든 이유입니다.

바이오센서의 핵심, 바이오인터페이스 레이어

이제 기술적으로 조금 더 깊이 들어가 볼까요? 바이오센서의 성능을 결정짓는 가장 핵심적인 요소는 생체 물질과 기계장치가 직접 만나는 접점, 바로 '바이오인터페이스 레이어'^{Bio-interface Layer}입니다. 이곳은 수많은 외부 물질 중 내가 원하는 정보만 골라내는 '정밀 필터'이자, 생체반응을 처음으로 유도하는 '기폭제' 역할을 합니다. 레이어에는 특정 분석 대상물에만 반응하도록 정교하게 설계된 생체 수용체들이 고정되어 있습니다. 수용체로는 효소, 항체, 핵산, 세포 등이 주로 사용됩니다.

먼저 효소^{Enzymes}는 가장 흔히 쓰이는 방식으로, 특정 분자와 결합해 화학반응을 일으킵니다. 혈당 센서의 포도당



산화효소가 대표적인 예입니다. 항체^{Antibodies}는 면역반응을 활용하는데, 특정 항원과 '열쇠와 자물쇠'처럼 결합하기 때문에 암 진단이나 바이러스 검출에서 탁월한 정확도를 자랑합니다. 핵산^{DNA/RNA}은 유전정보의 상보적 결합 원리를 이용해 특정 유전자 서열을 찾아냅니다. 마지막으로 세포는 살아 있는 세포의 반응을 직접 관찰함으로써 독성 검사나 약물 반응을 확인하는 데 쓰입니다.

하지만 아무리 성능 좋은 수용체가 있어도 센서 표면에 안정적으로 붙어 있지 못하면 소용없습니다. 여기서 공학적 정밀함이 요구되는 '고정화 기술'^{Immobilization}이 등장합니다.

수용체의 생물학적 활성을 그대로 유지하면서 전극 표면에 아주 얇고 균일하게 배치하는 것이 이 기술의 핵심입니다. 최근에는 탄소나노튜브^{CNT}나 그래핀 같은 나노 신소재를 인터페이스에 활발하게 도입하고 있습니다. 이러한 소재는 표면적을 획기적으로 넓혀줄 뿐 아니라, 전기 전도성이 뛰어나 미세한 신호도 놓치지 않고 잡아낼 수 있습니다.

특히 바늘을 사용하지 않는 비침습 센서의 경우, 땀이나 눈물 속에 섞인 수많은 이물질이 측정에 큰 방해 요소가 됩니다. 이를 해결하기 위해 바이오인터페이스 레이어 위에 아주 얇은 고분자 막을 씌웁니다. 이 막은 원하는 성분만 통과시키고 오염물질은 철저히 차단해, 센서의 수명을 늘리고 측정의 정확도를 높이는 든든한 ‘수문장’ 역할을 합니다.

결국 바이오인터페이스 레이어는 ‘생명체의 언어’를 ‘기계의 언어’로 바꾸기 위한 첫 번째 관문이자, 센서의 민감도를 결정짓는 바이오공학의 정수라고 할 수 있습니다.

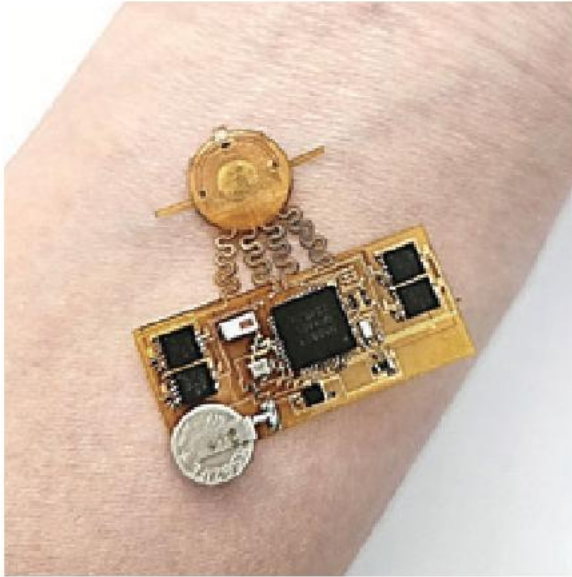
질병 진단부터 환경 감시까지, 넓혀가는 활용 영역

바이오센서는 정교한 메커니즘을 바탕으로 의료뿐만 아니라 환경·식품·군사 등 우리 삶의 전방위로 활용 영역을 넓혀가고 있습니다. 가장 먼저 두각을 나타내는 분야는 스마트 헬스케어와 의료 진단입니다. 연속혈당측정기처럼 실시간으로 만성질환을 모니터링하거나, 혈액 속의 미세한 마커를 포착해 암을 조기에 발견하는 등 정밀의료의 핵심 역할을 합니다. 또한 코로나19 자가검사 키트처럼 병원에 가지 않고도 현장에서 감염병 여부를 즉시 판단할 수 있는 현장 진단^{POCT} 기기에도 널리 쓰이고 있습니다.

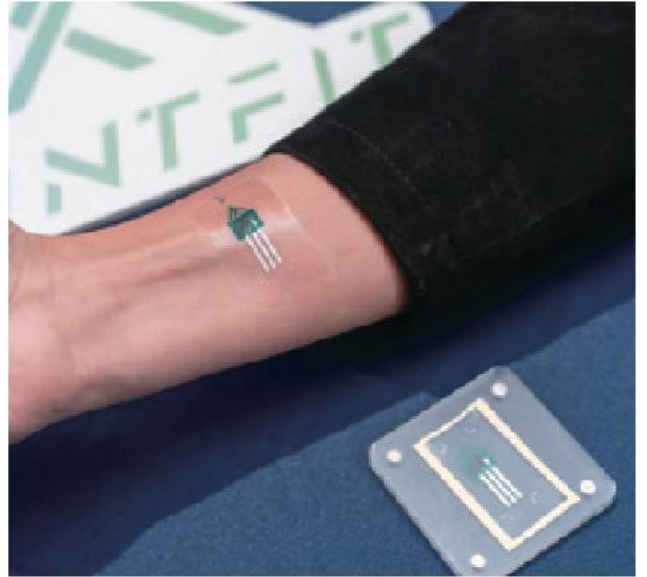
바이오센서는 먹거리의 안전을 책임지는 식품 분야에서도 빛을 발합니다. 식재료에 남아 있는 잔류 농약이나 항생제, 중금속 등을 빠르게 검출할 뿐 아니라, 육류나 생선이 부패할 때 발생하는 가스를 감지해 신선도를 수치로 증명해주기도 합니다. 환경 모니터링 분야에서도 강물 속의 독성 물질이나 대기 중의 오염 입자를 실시간으로 감시하며 지구의 건강을 지키는 파수꾼 역할을 톡톡히 해냅니다.



글로벌 헬스케어 기업 애보트. 연속혈당측정기^{CGM}를 비롯한 침단 비침습 바이오센서 기술을 선도하며, 단순한 질병 진단을 넘어 ‘개인 맞춤형 헬스케어’라는 거대한 시장의 성장을 이끌고 있다.



카이스트 권경하 교수 연구팀이 개발한 피부 부착형 무선 웨어러블 혈류 측정 전자 패치. 다층 열 센싱 기술과 인공지능^{AI} 딥러닝 알고리즘을 결합해, 피부에 붙이기만 해도 미세한 열 이동을 분석하여 혈관 깊이와 실시간 혈류 속도를 초정밀 단위로 측정해낸다.



배출되는 땀을 분석해 피로도와 건강지표를 실시간으로 측정해주는 포인트핏 테크놀로지의 피부 부착형 비침습 땀 센서 패치.

군사와 보안 영역에서의 활약도 빼놓을 수 없습니다. 탄저균 같은 생화학 작용제나 미세한 폭발물 분자를 초기에 감지하여, 보이지 않는 위협으로부터 인명을 보호하는 든든한 방패가 되어줍니다. 최근에는 이러한 기술이 웨어러블 기기와 결합하며 라이프스타일 영역으로도 파고들고 있습니다. 운동 중 배출되는 땀을 통해 수분 상태나 피로도를 측정해 최적의 운동 강도를 제안하고, 호르몬 변화를 체크해 개인의 스트레스 지수까지 관리해주는 식입니다. 이렇듯 바이오센서는 이제 우리 몸과 환경을 읽어내는 ‘제6의 감각’으로 진화하면서 일상의 안전과 편의를 책임지고 있습니다.

AI와 나노 기술이 결합된 바이오센서가 그리는 미래

바이오센서 기술은 이제 단순한 측정을 넘어, 우리 삶의 질을 근본적으로 바꾸는 건강관리의 핵심 동력으로 자리 잡고 있습니다. 특히 시장의 흐름을 보면 그 열기가 뜨겁습니다. 2021년 218억 달러 규모였던 바이오센서 시장은 연평균 약 11%라는 놀라운 성장률을 기록하며 2028년에는 478억 달러 규모에 이를 전망입니다. 이러한 폭발적인 수치는 의료 현장은 물론이고 일상에서도 바이오센서에 대한 수요가 얼마나 빠르게 증가하고 있는지 보여줍니다.

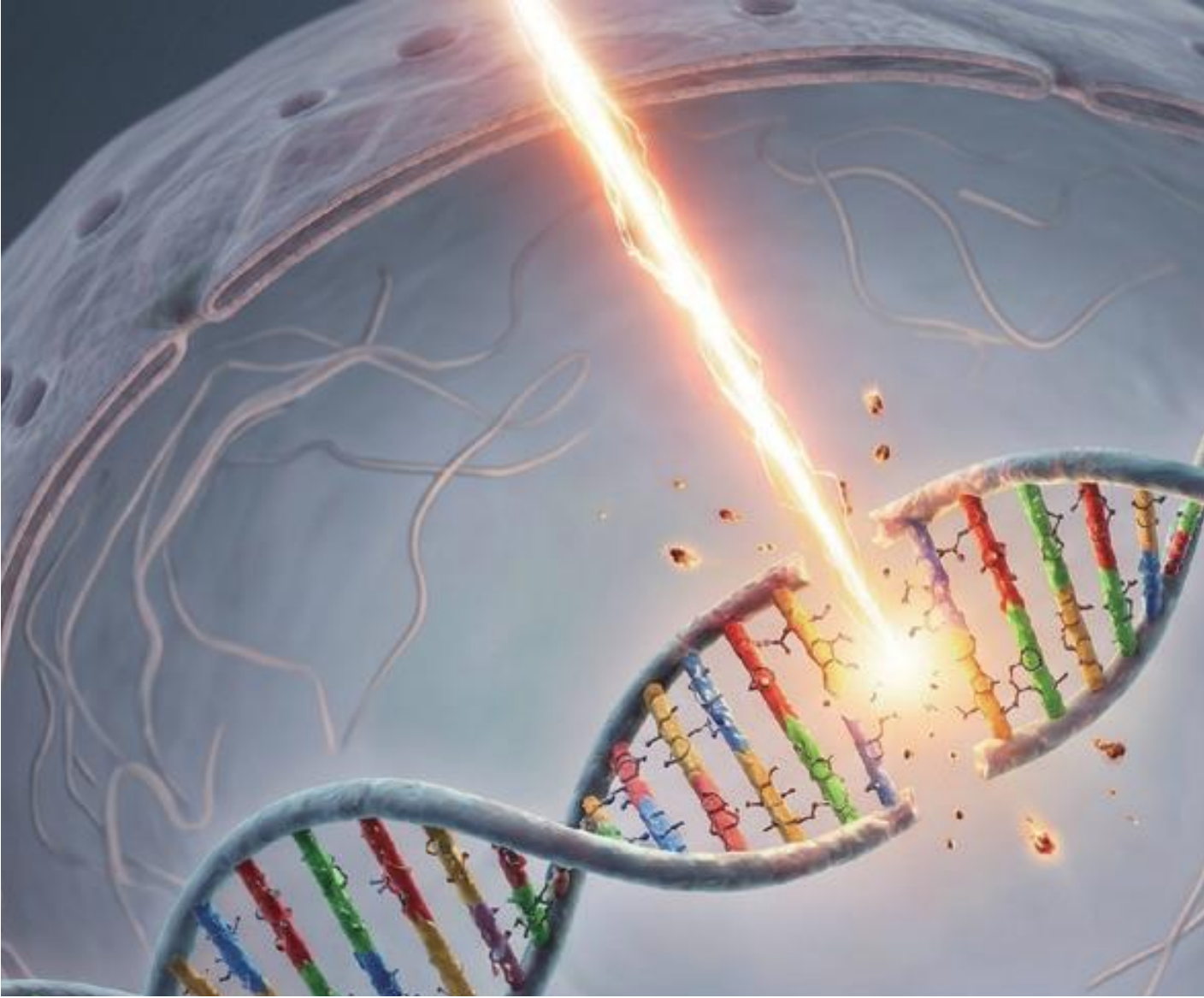
바이오센서의 성장을 뒷받침하는 가장 큰 동력은 인공지능^{AI}과 머신러닝 기술의 비약적인 발전입니다. 과거에는 데이터를 수집하는 수준에 그쳤다면, 이제는 AI 분석 알고리즘이 실시간으로 쏟아지는 방대한 생체 데이터를 분석해 사용자의 건강상태를 정밀하게 예측하고 개인별 맞춤 인사이트를 제공합니다. 이는 AI 분석 알고리즘이 잠재적인 질병 위험을 미리 경고하는 지능형 건강 비서 역할까지 한다는 것을 의미합니다.

나노 기술과 전자공학, AI가 결합된 바이오센서는 앞으로 우리 몸의 보이지 않는 신호들을 완벽하게 디지털로 바꾸면서 인류의 건강수명을 연장하는 데 기여할 것으로 기대됩니다. 피 한 방울, 땀 한 방울 속에 담긴 데이터가 우리의 건강한 미래를 설계하는 강력한 무기가 되는 시대가 눈앞에 다가와 있습니다.



김형자 과학 칼럼니스트

청소년 과학 잡지 <Newton> 편집장을 지냈으며, 현재 과학 칼럼니스트와 저술가로 활동 중이다. 저서로는 <구멍에서 발견한 과학>, <먹는 과학책> 등이 있다.



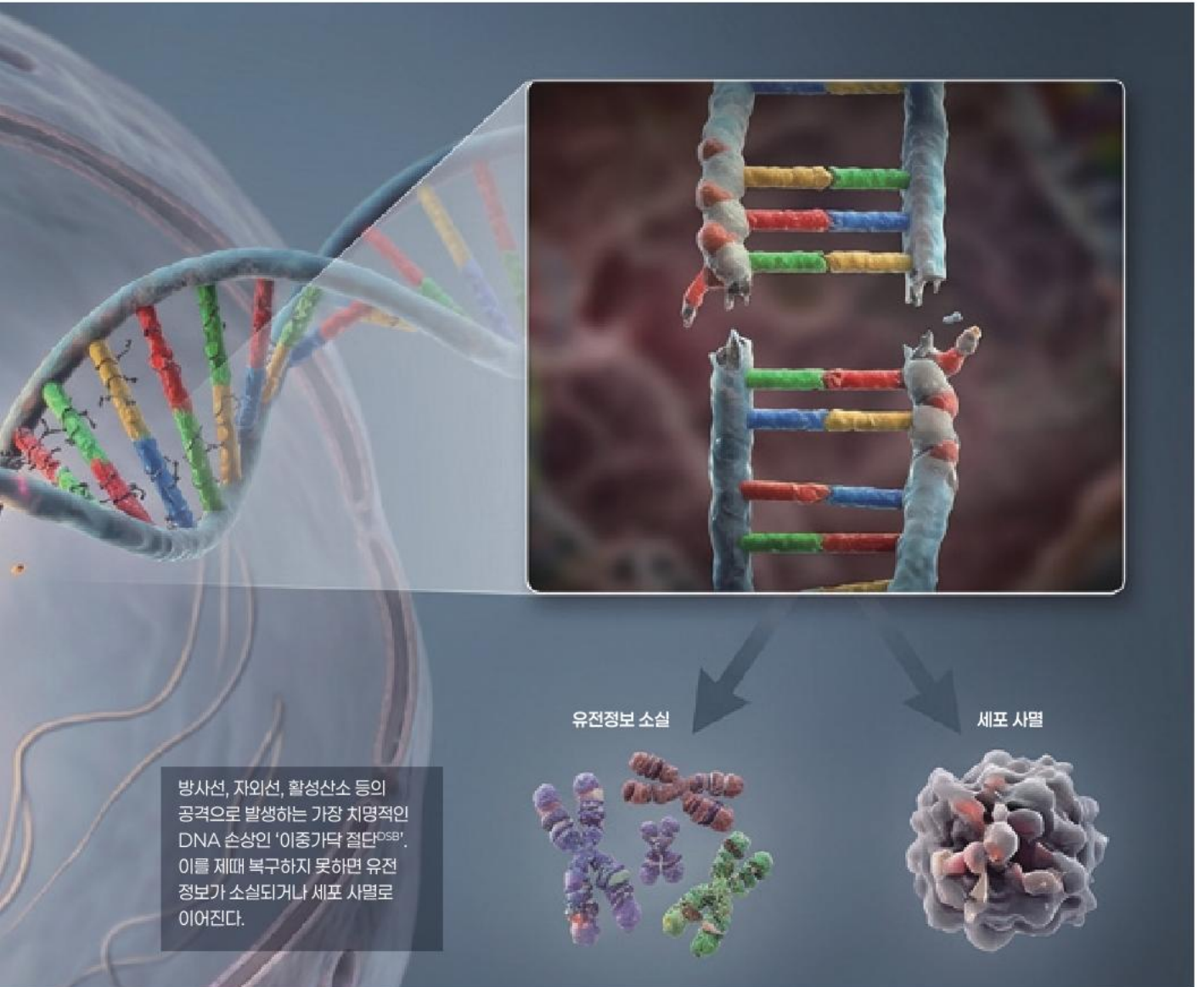
끊어진 유전자 사슬을 회복하다: DNA 손상 복구



글 이지일 울산과학기술원 생명과학과 교수

세포 안의 위기 대응 시스템

사람의 몸을 이루는 세포 각각에는 2m에 달하는 DNA가 핵 속에 촘촘히 접혀 들어 있다. 이 DNA는 생명의 설계도이자, 세포가 무엇을 만들고 어떻게 행동할지 결정하는 정보의 원천이다. 그런데 이 정밀한 설계도는 놀랍도록 자주 손상된다. 자외선, 방사선, 환경오염, 독성 화합물, 활성산소, 심지어 DNA를 복제하는 과정에서의 실수까지, 하나의 세포는 하루에 수만 건 이상의 DNA 손상을 경험할 수 있다.



방사선, 자외선, 활성산소 등의 공격으로 발생하는 가장 치명적인 DNA 손상은 '이중가닥 절단^{DSB}'. 이를 제때 복구하지 못하면 유전 정보가 소실되거나 세포 사멸로 이어진다.

대부분의 손상은 DNA 염기^{Base} 하나가 변형되거나 DNA 이중나선의 한쪽 가닥만 끊어지는 수준이다. 하지만 그중에서도 특별히 심각한 손상이 있는데, 이는 이중나선의 양쪽 가닥이 동시에 절단되는 '이중가닥 절단^{DSB, Double-Strand Break}'이다. 다른 손상은 DNA 반대편 가닥의 상보성^{Complementarity}을 이용해서 복구가 가능하나, DSB는 이를 이용할 수 없기 때문에 가장 치명적이다. 즉 사다리꼴로 비유하면 기둥 양쪽이 동시에 부러진 셈이다. DSB가 정상적으로 복구되지 않으면 염색체가 분리되고, 유전정보가 소실되거나 뒤섞이며, 결국 세포는 암세포로 변하거나 사멸한다.

그렇다면 세포는 이 위기에 어떻게 대응하는가? 놀랍게도 세포 안에는 이를 전담하는 정교한 단백질 군단이 존재한다. 이들은 손상을 감지하고, 신호를 증폭하며, 복구 방식을 결정하고, 실제 수리를 수행한다. 최근 생물물리학자들은 이 과정을 분자 하나하나 수준에서 실시간으로 포착하는 데 성공했다.

복구 경로의 갈림길 : 세포의 분자적 의사결정

세포는 DSB에 즉각적으로 반응한다. 가장 먼저 현장에 도달하는 것은 손상 감지 단백질이다. 이들은 끊어진 DNA

말단을 인식하고 신호 단백질을 불러들이며, 이 신호는 연쇄적으로 증폭돼 수백 나노미터 범위의 염색체 영역을 복구 모드로 전환시킨다. 손상 부위 주변에 단백질들이 집결해 밝게 빛나는 점^{Focus}을 형성하는 것을 현미경을 통해 볼 수 있다. 세포가 위기를 선포한 것이다.

이러한 손상 인식 이후 실질적인 복구가 진행된다. 세포는 두 가지 주요 DSB 복구 경로 중 하나를 선택한다. 세포주기의 어느 단계에 있는지, 손상 말단이 어떤 구조를 가지는지, 주변 단백질 환경이 어떠한지에 따라 이 갈림길에서의 선택이 결정된다. 첫 번째는 '비상동 말단 연결^{NHEJ, Non-Homologous End Joining}'로, 끊어진 두 말단을 빠르게 맞붙이는 방식이다. 빠르고 효율적이지만 말단을 맞붙이는 과정에서 염기 몇 개가 삭제되거나 삽입되는 오류(돌연변이)가 생길 수 있다. 또 다른 하나는 '상동 재조합^{HR, Homologous Recombination}'으로, 손상된 DNA와 동일한 서열을 가진 자매 염색분체^{Sister Chromatid}를 주형으로 삼아 정밀하게 복구하는 방식이다. 비상동 말단 연결에 비해 느리지만 정확하며 돌연변이가 없다. 자매 염색분체가 존재하는 S기^{S-phase}에서 주로 발생한다. 이 의사결정 과정에서 핵심 역할을 하는 것이 'MRN 복합체^{MRE11-}

^{RAD50-NBS1}'와 'BRCA1', '53BP1' 같은 단백질이다. 이들은 서로 경쟁하듯 손상 말단에 결합하며, 복구 경로의 방향을 결정한다. 53BP1이 우세하면 NHEJ 쪽으로, MRN과 BRCA1이 우세하면 HR 쪽으로 균형이 기울어진다.

단분자 이미징 : 분자 군단의 실시간 관찰

이 복잡한 분자 군단의 활동을 이해하기 위해 생물물리학자들은 지난 20여 년간 혁신적인 관찰 도구를 개발해왔다. 그 중심에 단분자 형광 이미징^{Single-molecule Fluorescence Imaging}이 있다. 원리는 단순하다. 특정 단백질에 하나의 형광 분자를 붙이고 극도로 민감한 현미경으로 하나의 형광체를 관찰함으로써, 개별 단백질이 DNA 혹은 DNA 손상과 어떻게 결합하고 떨어지고 수선하는지 그 순간을 실시간으로 포착하는 것이다.

여러 단분자 형광 이미징 기법 중에서도 특히 DNA 커튼^{DNA Curtain}이 이러한 DNA 손상을 연구하기에 강력한 방법이다. 유리 표면에 수백 개의 DNA 분자를 나란히 고정하고 유체를 흘러 커튼처럼 펼친 뒤, 그 위에서 일어나는 단백질들의 움직임을



빠르지만 오류가 발생할 수 있는 '비상동 말단 연결^{NHEJ}'과 느리지만 정교하게 원상 복구하는 '상동 재조합^{HR}'. 세포는 주어진 환경에 맞춰 최적의 복구 경로를 선택해 끊어진 DNA를 다시 잇는다.

동시에 관찰한다. 한 번의 실험으로 수백 개의 단일 분자 활동을 포착할 수 있어, 통계적으로 의미 있는 데이터를 빠르게 얻을 수 있다. 이 방법을 통해 연구자들은 HR과 NHEJ 과정이 어떻게 일어나고, 그 두 과정이 어떻게 결정되는지 분자 수준에서 직접 관찰했다.

생체공학적 관점 : 이미징에서 치료 전략으로

생물물리학자의 시선에서 보면, 이 연구들이 생산하는 것은 생물학적 발견을 넘어서 고차원 동역학 데이터다. 특정 단백질이 특정 DNA 말단 구조에 결합하는 속도, 체류시간, 경쟁 단백질과의 상대적 친화도, 농도 의존성 등 모든 수치가 쌓이면 복구 경로 선택의 정량적 모델을 구축할 수 있으며, 이러한 모델은 여러 방향의 응용으로 이어질 수 있다. 가장 직접적인 것은 암 치료 전략의 설계다. 많은 항암제와 방사선 치료는 의도적으로 암세포의 DNA에 DSB를 유발하는 방식으로 작동한다. 그런데 일부 암세포는 특정 복구 경로를 과활성화해 이 공격을 버텨낸다. 복구 단백질들의 상호작용 동역학을 정밀하게 이해한다면, 어느 단계를 차단했을 때 암세포의 복구 능력을 효과적으로 무력화할 수 있는지 예측할 수 있다. 실제로 BRCA1/2 변이 암에서 PARP 억제제가 효과를 보이는 것도 HR 경로의 결함을 이용한 전략이다.

나아가 이 데이터는 AI 기반 신약 스크리닝의 훈련 데이터로도 활용된다. 단분자 수준의 동역학 데이터는 단백질-DNA, 단백질-단백질 상호작용의 물리적 실체를 담고 있어, 기존 구조 정보 중심의 데이터와는 질적으로 다르다. 이를 학습한 AI 모델은 복구 단백질의 특정 결합 부위를 표적으로 하는 신약 후보를 훨씬 정밀하게 예측할 수 있다.

한편 우주 의학 관점에서도 이 연구는 중요하다. 우주 환경의 고에너지 방사선은 지상보다 훨씬 높은 빈도로 DSB를 유발한다. 장기 우주 체류 환경에서 인체 세포의 복구 역량이 어떻게 변화하는지, 복구 단백질들의 동역학이 미세 중력 아래에서 달라지는지를 이해하는 것은 우주인 건강 보호의 핵심 과제다.



DNA 이중나선절단이 발생 시, 손상된 DNA 가닥이 단백질^{recombinase}의 도움을 받아 온전한 상동 주형 DNA 사이로 침투하여 유전 정보를 복구하는 상동재조합 과정.

끊어진 사슬이 이어지는 순간

DSB 복구 연구는 분자생물학과 물리학, 그리고 공학이 만나는 접점에 있다. 단백질들이 끊어진 DNA 말단 앞에서 어떤 신호를 주고받고, 어떤 경로를 택하며, 어떤 속도로 수리를 완료하는지, 이 모든 과정을 분자 하나의 수준에서 실시간으로 보는 것은 불과 몇 십 년 전만 해도 불가능한 일이었다. 지금 이 순간에도 전 세계 여러 연구실에서 형광으로 빛나는 단백질 분자들이 DNA 위를 분주히 오가고 있다. 그 움직임 하나하나가 쌓여 언젠가 암을 정밀하게 공략하고, 방사선 손상을 예방하며, 노화를 늦추는 치료 전략의 토대가 될 것이다. 끊어진 사슬을 잇는 분자 군단의 이야기는 여전히 진행 중이다.



이지일 울산과학기술원 생명과학과 교수

서울대학교 물리학 박사, 컬럼비아대학교 연구원을 거쳐 현재 울산과학기술원 생명과학과에서 연구를 이끌고 있다. DNA 손상 복구 메커니즘과 세포 내 분자 동역학 등 생명 유지 시스템의 실체를 규명하는 데 주력하고 있다.

석유 대신 세포가 만드는 미래

석유 대신 미생물이 플라스틱과 항공유를 만드는 시대가 오고 있다. 마치 작은 공장처럼 설계된 세포 안에서 원하는 물질을 효율적으로 생산해내는 기술, 바로 ‘세포공장^{CELL FACTORY}’이다. 김희식 한국생명공학연구원 세포공장연구센터장은 미생물을 활용한 바이오 제조 기술을 연구하며, 지속가능항공유^{SAF}, 바이오 플라스틱 등 친환경 고부가가치 소재 개발을 이끌고 있다. 탄소중립 시대, 제조산업의 미래를 새롭게 설계하고 있는 김희식 센터장을 만나 세포공장이 바꿔갈 산업의 변화와 연구자의 삶에 대해 들어보았다.

글 김선녀 사진 서범세

현재 말고 계신 연구와 세포공장연구센터에 대한 소개 부탁드립니다.

한국생명공학연구원 세포공장연구센터에서는 미생물 기반의 바이오 제조 기술을 연구하고 있습니다. 쉽게 말하면 세포를 작은 공장처럼 활용해 원하는 물질을 생산하는 기술을 개발하는 곳입니다. 현재는 지속가능항공유^{SAF}, 바이오 플라스틱, 기능성 화학 소재 등 친환경 바이오 소재 생산 연구를 중심으로 진행하고 있습니다.

‘세포공장^{Cell Factory}’이라는 개념이 아직은 다소 낯설게 느껴집니다.

기존 석유화학 공장이 여러 화학 공정을 거쳐 제품을 만드는 것처럼, 세포공장은 세포 안의 대사 경로와 효소를 활용해 원하는 물질을 생산하는 기술입니다. 쉽게 말하면 세포를

하나의 작은 공장처럼 활용하는 개념이라고 볼 수 있습니다. 우리가 유전자와 대사 경로를 조절하면, 세포는 스스로 특정 물질을 효율적으로 생산하게 됩니다.

이론적으로는 석유 기반 화학 소재 대부분은 세포 기반으로도 만들 수 있습니다. 석유는 탄소·수소·산소·질소 같은 요소로 이루어져 있고, 세포 역시 같은 원소들로 구성되어 있으니까요. 더 거슬러 올라가 보면 석유의 기원 자체도 오랜 시간 축적된 바이오매스, 즉 생명체에서 시작된 것이라고 볼 수 있습니다. 그런 의미에서 보면 석유 역시 ‘바이오에서 온 물질’인 셈입니다.

세포공장에서 만드는 바이오 항공유나 바이오 플라스틱이 중요해진 이유는 무엇인가요?

결국 탄소중립 때문입니다. 기존 석유 기반 제조산업은 생산 과정에서 많은 온실가스를 배출하지만, 바이오 기반 공정은 상대적으로 탄소 배출을 줄일 수 있습니다. 특히 항공산업은 자동차처럼 전기화가 쉽지 않기 때문에, 앞으로 바이오 항공유가 매우 중요한 분야가 될 것으로 보고 있습니다.

실제로 유럽은 2025년부터 항공유에 SAF 혼합을 의무화했고, 우리나라와 일본도 사용 비율 확대를 추진하고 있습니다. 문제는 현재 바이오 항공유 원료로 가장 많이 사용되는 폐식용유^{UCO}의 공급이 한정적이라는 점입니다. 수요는 계속 늘어나는데 대부분 수입에 의존하고 있어 원료 확보와 가격 경쟁이 점점 심해지고 있습니다. 그래서 최근에는 세포공장을 활용해 항공유 원료 자체를 생산하려는 연구가 빠르게 확대되고 있습니다.

과거 산업혁명이 기계와 석유 중심이었다면, 앞으로의 제조업은 ‘바이오 기반 제조’로 바뀔 가능성이 있다고 보시나요? 그렇다면 가장 먼저 변화할 산업은 무엇이라고 생각하시는지 궁금합니다.

충분히 가능성이 있다고 봅니다. 특히 가장 빠르게 변화할 분야는 플라스틱 대체 소재 산업이라고 생각합니다. 최근에는



김희식
한국생명공학연구원
세포공장연구센터장



“예전에는 좋은 논문이 중요하다고 생각했지만, 지금은 실제 산업과 사회에 연결되는 연구가 더 중요하다고 느낍니다.”

친환경 소재에 대한 규제와 소비자 요구가 빠르게 커지고 있기 때문에, 기존 석유 기반 플라스틱을 바이오 기반 소재로 대체하려는 움직임이 활발하게 나타나고 있습니다. 그다음으로는 항공유와 같은 액체연료 분야가 중요한 변화 영역이 될 것으로 보고 있습니다. 특히 항공산업은 전기화가 쉽지 않기 때문에 탄소중립을 위해서는 지속가능항공유 확대가 필수적입니다.

연구실 기술이 실제 산업으로 이어지기까지 가장 어려운 점은 무엇인가요?

가장 큰 문제는 결국 경제성입니다. 바이오 기반 소재가 시장에 빠르게 진입하지 못하는 이유도 대부분 가격경쟁력 때문입니다. 기존 석유 기반 공정은 원유를 정제·추출하는 방식이라 공정이 비교적 단순합니다. 반면 바이오 기반 공정은 원료가 되는 바이오매스를 먼저 생산해야 하기 때문에 공정이 더 복잡하고 비용도 많이 들어갑니다.

그래서 현재 연구의 핵심은 생산성을 얼마나 높일 수 있느냐에

있습니다. 바이오매스를 효율적으로 생산하는 기술도 중요하고, 여기서 항공유나 화학 소재를 안정적으로 추출·정제하는 공정을 산업 규모로 확립하는 것도 중요합니다. 결국 실험실 수준의 기술을 실제 산업공정에서도 동일하게 구현하는 ‘스케일업^{Scale-up}’이 가장 큰 과제라고 생각합니다.

센터장님의 하루 루틴도 궁금합니다. 연구자의 하루는 어떻게 흘러가나요?

—
하루보다는 주간 단위로 루틴이 진행되는 편입니다. 월요일에는 연구 결과를 점검하는 주간 미팅을 하고, 화요일에는 혼자 공부하거나 연구 계획을 정리합니다. 수요일에는 UST 수업과 학사 업무, 목요일은 출장이나 외부 협력 업무, 금요일은 한 주를 정리하고 다음 주를 준비하는 시간으로 보내는 경우가 많습니다. 요즘 가장 관심 있게 보고 있는 분야는 ‘합성생물학^{Synthetic Biology}’입니다. 예전에는 유전자를 하나씩 조작하고 결과를 확인하는 데 많은 시간과 노동력이 필요했지만, 최근에는 미리 설계된 바이오 부품과 AI·로봇 기술을 활용해 훨씬 빠르고 효율적으로 세포를 개발하는 방향으로 바뀌고 있습니다.

앞으로 바이오 연구 역시 점점 더 자동화·고속화될 것이라고 생각합니다.

오랜 시간 연구를 이어오시면서 연구에 대한 생각도 많이 달라졌을 것 같습니다.

예전에는 좋은 연구라면 학문적으로 뛰어난 연구, 즉 좋은 저널에 논문을 발표하는 것이 가장 중요한 성과라고 생각했습니다. 실제로 연구원이나 선임연구원 시절에는 주어진 연구를 열심히 수행해 좋은 결과를 내고, 그것을 우수한 논문으로 발표하는 데 많은 의미를 두고 연구했던 것 같습니다. 그런데 연구 책임자로서 10년 정도 다양한 과제를 수행하고 전체 연구를 관리하면서 생각이 조금 달라졌습니다. 이제는 좋은 논문 자체보다, 실제 산업 현장에서 활용되고 우리 사회와 국가에 기여할 수 있는 연구가 더 중요하다고 생각합니다. 결국 연구는 사람들의 삶과 산업의 변화를 만들어낼 때 더 큰 의미를 갖는 것이니까요.

연구자의 길에서 가장 중요하다고 생각하는 자질은 무엇인가요?

실행력이라고 생각합니다. 어떤 학생은 처음부터 ‘안 될 것 같다’는 생각 때문에 시작 자체를 못 하는 경우가 있습니다. 반면 어떤 학생은 일단 해보자고 합니다. 저는 후자가 훨씬 가능성이 높다고 생각합니다. 실제로 연구를 해봐야 부족한 점도 보이고, 수정해야 할 방향도 찾을 수 있기 때문입니다. 완벽하게 준비한 뒤 시작하는 것보다, 직접 부딪치며 개선해나가는 태도가 훨씬 중요하다고 생각합니다.

연구가 잘 풀리지 않을 때는 어떻게 해결해나가시나요?

문제를 가능한 한 잘게 나누려고 합니다. 처음부터 거대한 문제를 한 번에 해결하려고 하면 오히려 막히는 경우가 많습니다. 작은 문제부터 하나씩 해결하다 보면 어느 순간 전체 흐름이 풀리는 경우가 많았습니다. 연구는 결국 긴 시간을 버텨야 하는 일이기 때문에, 한 번에 답을 찾으려 하기보다 단계적으로 접근하는 태도가 중요하다고 생각합니다.

연구자의 역할도 많이 바뀔 것 같습니다. 미생물 연구원은 전통적인 생물학 연구자에 가까운지, 아니면 컴퓨터와 시스템을 다루는 엔지니어에 가까워지는지 궁금합니다.

바이오 분야는 영역에 따라 성격이 많이 다릅니다. 보통 인체와 의약 분야는 ‘레드바이오’, 농업·식물·축산 분야는 ‘그린바이오’, 그리고 화학 소재나 산업 소재 분야는 ‘화이트바이오’라고 부르는데, 제가 연구하고 있는 화이트바이오 분야는 굉장히 엔지니어링에 가까운 영역이라고 생각합니다. 세포를 설계하고, 공정을 최적화하고, 생산시스템 전체를 설계해야 하기 때문입니다. 반면 레드바이오 분야는 인체 질환이나 건강과 직접 연결되기 때문에 기초 생물학과 의학적인 이해가 훨씬 중요합니다.

앞으로 세포공장 기술은 우리 삶을 어떻게 바꾸게 될까요?

인체 친화적이고 생분해가 가능한 소재들이 훨씬 많아질 것이라고 생각합니다. 미세플라스틱 문제도 지금보다 많이 줄어들 수 있을 것입니다. 결국 제조산업 자체가 점점 바이오 기반으로 이동하게 될 것이고, 우리가 일상에서 사용하는 플라스틱이나 화학 소재 역시 훨씬 친환경적인 방식으로 생산되는 시대가 올 것이라고 봅니다.

김희식 센터장은 누구?



김희식 센터장은 한국생명공학연구원 세포공장연구센터를 이끌며 미생물 기반 바이오 제조 기술을 연구하고 있다. 지속가능항공유^{SAF}, 바이오 플라스틱, 친환경 화학 소재 등 탄소중립 시대를 위한 바이오 기반 제조 기술 개발에 주력하고 있으며, 바이오산업의 스케일업과 산업화를 위한 연구를 수행하고 있다.

<테크 포커스>의 든든한 서포터

목소리란



똑 똑하게 **소** 통하고 **리** 뷰하는 <테크 포커스> 독자 **단**

목소리란은 산업기술에 관심 있는 다양한 연령층의 독자로 구성되어 있으며, 매월 표지를 선정하고 콘텐츠와 관련된 의견을 제안하는 등 활발한 활동을 이어가고 있습니다. <테크 포커스>를 함께 만들어가는 목소리란의 5월호 리뷰를 확인해보세요!

김승광

이번 호의 '슬기로운 기술 생활'은 반도체 기술의 근간이라 할 수 있는 메모리나 연산장치^{CPU}를 넘어, 현대 산업의 '혈관' 역할을 하는 전력 반도체의 본질과 미래 방향성을 매우 통찰력 있게 제시하고 있습니다. 반도체 기술의 흐름이 연산·메모리에서 전력 반도체로 확장되고 있음을 보여주며, AI 시대에 한국 산업계가 주도권을 잡아야 할 핵심 영역임을 시사합니다. 그 기술적 로드맵을 대중과 전문가 모두 이해하기 쉽게 잘 풀어낸 내용이라고 판단됩니다.

양현

작년부터 화두로 떠오른 'AI 팩토리'에 대해 다양한 관점에서 상세히 다루고 있어 매우 흥미롭게 읽었습니다. 실제로 'AI 팩토리'를 구축하기 위해 필요한 요소와 방향성까지 명확하게 제시해 이해에 도움이 되었습니다. 다만 내용의 상당수가 개념 및 연구 결과에 기반하고 있어, 이를 중소기업 현장에 실제로 어떻게 적용할 수 있을지에 대한 현실적인 부분은 다소 아쉽게 느껴졌습니다. 향후 실제 제조 현장에서 'AI 팩토리'를 도입·운영하고 있는 사례 중심의 내용을 함께 다룬다면, 도움이 될 것 같습니다.

이준혁

이번 호에서는 '첨단기술 경쟁의 시대, 활용과 보호를 잇는 산업 전략'에 주목했습니다. 구체적으로 기술 패권 시대에는 '보호'가 경쟁력이며, 현장 목소리로 정책을 만든다는 내용을 의미 깊게 읽었습니다. AI 도입과 산업의 AX 전환, 글로벌 투자 확대 등으로 기술의 이동과 공유가 활발해지면서, 기술 보호를 강화하는 동시에 기업활동의 부담을 줄이는 균형 잡힌 제도 마련이 중요한 과제로 떠오르고 있다는 점에 깊이 공감합니다. 또한 기업의 재정 및 인력 부담을 완화하면서도, 증가하는 기술 유출 위협에 대응할 수 있도록 보호 수준을 높이는 기술 보호 체계 전반에 대한 개선도 중요하다고 생각합니다.

남승훈

'베스트 프랙티스' 칼럼에서 "센서는 이제 측정장치가 아니라 AI 시대의 감각"이라는 연구진의 말이 인상적이었습니다. ETRI가 개발한 유연·인장형 센서 플랫폼은 단순한 부품의 집합이 아닌, 로봇에게 진정한 '촉각'을 부여하는 혁신적 전환점이라고 생각합니다. 기술 패러다임의 근본적 변화를 보여준 '전자 피부'가 만들어갈 미래는 피지컬 AI 시대의 서막일 것입니다. 기술이 인간의 감각에 한 걸음 더 가까워진 순간임을 느낍니다.

유지인

5월호에서 가장 인상 깊었던 기술은 (주)유니트론텍의 '중앙집중형 아키텍처 기반 Lv.4 자율주행 컴퓨팅 플랫폼 상용화 기술 개발' 관련 내용이었습니다. 기존 자동차는 엔진, 제동, 조향 등 기능별 ECU가 각각 분산되어 작동하는 구조였지만, 자율주행 기술이 발전하면서 차량 내부의 연산 구조를 하나의 중앙 컴퓨팅 플랫폼으로 통합하는 '중앙집중형 아키텍처'가 새로운 방향으로 제시되고 있습니다. 이는 단순히 자동차 기술 하나의 발전이 아니라 미래산업 전반의 변화와 연결된다는 점에서 의미 있게 느껴졌습니다.

최준영

'스페셜 리포트'의 AI 공장은 한국 제조업의 현실과 미래를 냉철하게 짚어낸 글이었습니다. 카이스트의 '카이로스'는 단순 설비 자동화를 넘어 공장 전체를 통합하는 '제조용 운영체제'의 자립 가능성을 보여줍니다. 특히 인상적인 것은 제조업의 패러다임이 '제품' 생산에서 '공장 시스템과 운영의 지혜'를 수출하는 방향으로 바뀌어야 한다는 점입니다. 개별 장비의 성능보다 전체의 유기적 연결과 데이터 통합이 필수적이며, 이를 위해 표준화된 플랫폼 기반의 '팀 코리아' 전략이 시급하다는 주장에 깊이 동감합니다.

이현진

실제 제조 현장에서는 여전히 'AI를 우리 공장에 어떻게 적용해야 하는가?'라는 부분에서 막히는 경우가 많습니다. 이번 'M.AX Series'가 인상 깊었던 이유도 그 부분을 현실적으로 짚었기 때문입니다. 가장 와닿았던 부분은 AI 팩토리를 '운영체제 자체의 변화'라고 표현한 점입니다. 이번 글은 단순히 AI 기술을 소개하는 수준을 넘어, 앞으로 제조업이 어떤 방향으로 변화하게 될지 굉장히 현실적으로 설명한 글이라는 점에서 의미가 컸다고 생각합니다.

한지옥

이번 호를 읽으면서 가장 크게 느낀 부분은, 산업계가 단순 자동화를 넘어 'AI 기반 운영체제 전환' 단계로 들어가고 있다는 점입니다. 다만 실제 산업 현장에서는 데이터 확보, 운영 안정성, 안전성 검증 등 해결해야 할 과제가 여전히 많습니다. 특히 중장비·작업장비 분야는 안전성과 직결되기 때문에 일반 IT 서비스처럼 빠르게 적용하기 어려운 부분도 존재합니다. 결국 향후 산업계에서는 단순 AI 기술력 자체보다 얼마나 안정적이고 현실적인 운영체제를 구축할 수 있는지가 더 중요한 경쟁력이 될 가능성이 높다고 느꼈습니다.

류창흔

이번 호 '키워드 산책' 칼럼은 철을 통해 문명사를 꿰뚫어 보는 통찰력과 4차 산업혁명 시대에도 여전히 문명을 지탱하는 가장 단단한 근간이라는 점을 상기시켜주었습니다. 개인적으로도 (주)포스코에서 36년간 근무하고 정년퇴직한 터라 더욱 친근하게 다가왔습니다. 현재 철강업은 탄소중립 시대를 맞이해 다량의 탄소 배출이라는 어려운 현실에 직면하고 있습니다. 수소환원제철과 같은 친환경 철강 기술로 전환하기 위해서는 기업만의 문제가 아닌 정부와 산학연이 지혜를 모아 슬기롭게 해결 방안을 모색할 필요가 있다고 생각합니다.

박지윤

이번 호를 읽다가 한 장면에서 멈춥니다. 로봇 손가락이 컵을 쥐는 사진인데, 손가락 끝에서 LED가 색깔별로 빛나고 있었습니다. 압력의 세기에 따라 색이 달라지는 장면을 보는 순간 "이게 진짜 되는 거야?" 싶었습니다. ETRI(한국전자통신연구원)가 개발 중인 유연·인장형 센서 플랫폼이었습니다. 이 기술의 최종 목표는 사람 피부처럼 밀착되면서도 접촉 위치, 압력 분포, 시간에 따른 변화까지 정밀하게 인지하는 '전자 피부^{E-skin}'라고 합니다. 마침 AI Expo를 다녀온 직후라 이 기술이 더 와닿았고, 연구진의 이 말이 계속 머릿속에 남았습니다. "센서는 이제 측정장치가 아니라, AI 시대의 감각입니다."

김진영

ETRI에서 진행하고 있는 연구를 흥미롭게 읽었습니다. 센서가 소자에서 플랫폼으로 진화하고 있다는 게 핵심이었습니다. 게다가 반도체 공정과 호환되는 대면적 웨이퍼 기반 제조 방식을 적용했다는 것이 포인트입니다. 유연·인장형을 배선 구조를 통해 실제로 구현했다는 것도 놀라웠습니다. 앞으로는 센서가 데이터 수집 외에 디바이스 내부에서 직접 해석하고 판단하는 방향으로 발전할 거라고 합니다. 글로벌 연구들이 개별 센서 성능 개선에 집중할 때 ETRI는 차별화를 꾀하고 있다는 점에서 국내 기술경쟁력 측면에서도 의미 있는 성과라고 생각합니다.

독자 퀴즈의 정답을 맞추주세요!

퀴즈에 참여해주신 정답자 중 추첨을 통해 소정의 상품을 보내드립니다. 퀴즈 정답과 휴대폰 번호를 grintjssu@hankyung.com으로 보내주세요.

독자 선물은 교환, 환불이 불가합니다. 전화번호 누락, 오류 등으로 인한 발송 시 재발송하지 않습니다.

20명 증정

퀴즈 정답자 모바일 커피 교환권



제약·바이오산업이 기존의 획일적인 치료 시대를 지나 새로운 물질과 융합 기술이 주도하는 '맞춤형 정밀의료' 중심으로 바뀌고 있다. ○○○○○○ 은(는) 단순히 기존의 약물을 개량하는 수준을 넘어, 다양한 생체 정보와 최신 공학 기술을 유기적으로 연결해 질병의 근본 원인을 타격하는 혁신적 치료 플랫폼으로 발전하고 있다.

자원안보위기 경보 발령에 따른 에너지절약 국민행동

이동할 때



승용차 5부제(요일제)
참여하기



대중교통 이용하기



친환경 운전하기

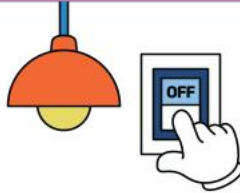


가까운 거리는
걸거나 자전거타기

회사에서



적정 실내온도 준수
(난방 20°C, 냉방 26°C)



불필요한 조명 끄기

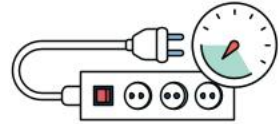


샤워시간 줄이기



주택용 에너지캐시백,
도시가스 절약 캐시백 참여하기

가정에서



저녁시간(5~8시) 가전제품
효율적으로 이용·절약하기



전기차·휴대폰은
낮시간에 충전하기



고효율 가전제품 구매하고,
조명은 LED로 교체하기



세탁기, 청소기는
주말에 사용하기

AI로 여는 **산업의 첫걸음,**

KEIT와 함께

한국산업기술기획평가원(KEIT)은
대한민국 산업 곳곳에 AI를 더합니다
기술의 발자국은 결국,
우리의 미래를 향합니다



KEIT

한국산업기술기획평가원

Korea Planning & Economic Institute of Information Technology

내일을 설계하는 오늘의 데이터
2025년 기준
경제총조사

2026. 6. 1. ~ 7. 22.

사업 데이터를 UP하면
내 경쟁력이 UP됩니다

조사대상 · 국내에서 산업활동을 하는 모든 사업체

조사방법 · 대면조사 또는 비대면조사

대면조사 | 조사원이 사업체를 방문하여 조사
비대면조사 | 온라인(PC, 모바일), 전화, 웹팩스,
웹메일 등을 이용하여 조사

경제총조사 홈페이지 · www.ecensus.go.kr

콜센터 · 080-700-2025 (평일 09:00 ~ 19:00) | (토요일 09:00 ~ 15:00)

경제총조사 홈페이지



Tech Focus

산업통상부 산하 R&D 전문기관
한국산업기술기획평가원이 발행하는 국내외
산업기술의 모든 것을 담은 전문지 <테크 포커스>



<테크 포커스> 웹진(techfocus.kr)에서 신간호와
함께 과월호도 모두 만나보세요!

<테크 포커스> 웹진 보기 매월 10일 오픈





제조산업의 AI 전환, KEIT가 시작합니다

Changing
Tomorrow
내일을 바꾸는 기술

